



Seppo Suomalainen

Rengaskumijätteen hyödyntämismenetelmät ja hyödyntämisen tulevaisuuslinjaukset

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 4.3.2016

Valvoja: Professori Jaana Sorvari

Ohjaaja: FT Petri Peltonen

| | | |
|---|----------------------|--------------------|
| Tekijä Seppo Suomalainen | | |
| Työn nimi Rengaskumijätteen hyödyntämismenetelmät ja hyödyntämisen tulevaisuuslinjaukset | | |
| Koulutusohjelma Ympäristötekniikan DI – ohjelma | | |
| Pää-/sivuaine Ympäristötekniikka | Koodi IA 3003 | |
| Työn valvoja Professori Jaana Sorvari | | |
| Työn ohjaaja/Työntarkastaja FT Petri Peltonen | | |
| Päivämäärä 4.3.2016 | Sivumäärä 90 | Kieli suomi |

Tiivistelmä

Diplomityössä tarkastellaan käytöstä poistettujen renkaiden kierrätyksen ja kierrätettyjen renkaiden hyötykäytön nykytilaa Suomessa ja Euroopassa. Työn tavoitteena oli arvioida nykyisin käytössä olevia rengaskumijätteen hyödyntämismenetelmiä ja löytää uusia jätehierarkian ja kiertotalouden mukaisia hyödyntämismenetelmiä. Käytöstä poistettuja renkaita on Suomessa kierrätetty vuodesta 1996 lähtien ja laskennallinen kokonaisten renkaiden kierrätysprosentti on jo useana vuonna ollut yli 100 %. Vuosina 2010 -2014 lähes 80 % kierrätetyistä renkaista hyödynnettiin materiaalina. Suurimpia yksittäisiä käyttökohteita olivat kaatopaikkarakenteet ja meluvallit. Vuoden 2016 alussa voimaan tullut uusittu jätelaki kieltää rengasrouheen käytön kaatopaikkojen pohjarakenteiden kuivatus- ja salaojituskorroksissa, minkä johdosta kierrätetyille renkailla täytyy löytää uusia hyötykäyttötapoja. Uusina hyödyntämistapoina työssä selvitettiin rengaskumijätteen hajottamista pyrolyysin ja devulkanoinnin avulla sekä renkaiden granulointia ja rengasrouheiden käyttöä ravinnerikkaiden vesien biosuodatuksessa. Eri hyödyntämistapoja vertailtiin kirjallisuustietojen pohjalta.

Hyödyntämisen tulevaisuuslinjausten tarkastelussa syntyi kaksi keskeistä päätulosta. Niistä ensimmäinen oli tieto kierrätettyjen renkaiden kokonaismassasta, jonka Suomessa voidaan arvioida riittävän täyttämään tarkastelussa olleiden pyrolyysi- ja granulointilaitosten raaka-ainetarpeen. Toisena tuloksena löytyi potentiaalisin teollisessa mittakaavassa toimiva hyödyntämismenetelmä, nimittäin rengaskumin mekaaninen pienentäminen mahdollisimman pieneen raekokoon eli granulointi. Kumimateriaalin devulkanointia tai pyrolyysiä ei ole saatu monista tutkimuksista huolimatta toimimaan luotettavasti ja kustannustehokkaasti. Granulointi osoitautui tulevaisuuden potentiaalisimmaksi menetelmäksi taloudellisten seikkojen ja vähäisten ympäristövaikutusten perusteella. Granulointi täyttää hyvin myös jätehierarkian prioriteettijärjestyksen asettamat vaatimukset, ja siinä syntyville jakeille on selkeät käyttökohteet. Kumigranulaattia voidaan käyttää asfaltin valmistuksessa, tekonurmissa, leikkikenttärakenteissa ja urheilusuorituspaikoissa.

DI-työn tulosten analysointi eri hyödyntämisvaihtoehtojen osalta perustui työssä lasketuista renkaiden hyödyntämismääristä arvioituihin mahdollisuuksiin. Tulosten perusteella käytännössä on saatavilla teollisesti toimivia, taloudellisesti kannattavia ja ympäristöllisesti hyväksyttäviä käytöstä poistettujen renkaiden ja niistä saatavan kumimateriaalin hyödyntämistapoja. Tulevaisuudessa tulisi keskittyä selvästi enemmän rengaskumimateriaalin mekaanisen pienentämisen kehittämiseen niin, että tuotanto on energiatehokkaampaa ja murskaustuotteiden laatu mahdollistaa niiden paremman hyödyntämisen jatkojalostuksessa.

Avainsanat käytöstä poistettu rengas, renkaiden kierrätys, rengaskumijäte, hyödyntäminen

| | | |
|---|---------------------------|-------------------------|
| Author Seppo Suomalainen | | |
| Title of thesis Methods to re-use tire rubber waste and future prospects for reclamation | | |
| Degree programme Master of Science Program in Environmental Engineering | | |
| Major/minor Environmental Engineering | | Code IA 3003 |
| Thesis supervisor Professor Jaana Sorvari | | |
| Thesis advisor(s) PhD Petri Peltonen | | |
| Date 4.3.2016 | Number of pages 90 | Language Finnish |

Abstract

This work investigates the recycling of discarded tyres and the current state of tyre recycling in Finland and Europe. The thesis aims to evaluate the current adoption of the tyre rubber waste recovery methods and to identify new methods based on waste hierarchy and Circular Economy. Since 1996, the discarded whole tires have been recycled in Finland and the calculated tyre recycling rate has been more than 100 %. In 2010 -2014, almost 80 % of recycled tyres were used as materials. Landfill structures and noise barriers were the largest single applications. The new Waste Act that came into force in the beginning of 2016 prohibits the use of crushed tyres in the drainage layers on landfills. This is the primary reason necessitating new commercial applications for recycled tyres. This work analyzes new methods for recycling waste tyres after decomposition by pyrolysis and devulcanization, granulation of tyres, and the utilization crushed tyres in bio-filtration of nutrient-rich waters. Comparison of the different options for reclamation was based on the literature.

Two main results came up, the first being the information on the total mass of recycled tyres in Finland, which can be estimated to be sufficient to fulfill raw material requirements of tyre pyrolysis and tyre granulation plants. Secondly, the study showed that mechanical grinding of tyre rubber to the smallest possible particle size, i.e. granulation, is the most potential industrial scale treatment method. Regardless of many investigations, the de-vulcanization and pyrolysis of tyre rubber have not been entirely successful, i.e. the process has not been reliable nor cost-efficient. Based on economic aspects and minor environmental impacts, granulation is the most potential future treatment method for tyre waste. Granulation also meets the requirements of the waste hierarchy priority order and offers targeted end uses for fractions originating from the granulation process. Rubber granulates can be applied in asphalt paving mixtures, turfs, playgrounds and sportsgrounds.

Analysis of the results of the work of the different reclamation options was based on the estimated potential, calculated from the tyre recovery rates. The present study showed that industrially workable, economically profitable and environmentally acceptable re-uses are already available for discarded tyres and tyre rubber materials. In the future, the research should focus on the development of less energy-consuming mechanical tyre grinding systems and, at the same time, on promotion of the quality of tyre rubber particles for further conversion.

Keywords discarded tyre, tyre recycling, tire rubber waste, recovery

ALKUSANAT

Tämän diplomityön aihe valikoitui pääasiassa sen ajankohtaisuudesta johtuen, mutta aihe kiinnosti myös nykyisen työni johdosta. Itse koen, että renkaiden kierrätys ja kierrätettyjen rengasmateriaalien hyödyntäminen on jäänyt polkemaan paikoillaan, vaikka suhteellisen pienillä toimintatapamuutoksilla asia voitaisiin saattaa tämän hetken kierrätysajatus- ja – tavoitteiden mukaiseksi.

Käytöstä poistettujen renkaiden kierrätys tai paremminkin sen mahdollinen toimimattomuus koskettaa lähes kaikkia kuluttajia, joten toimiva renkaiden kierrätysjärjestelmä on myös kuluttajien kannalta tärkeä. Yhteiskunnan ja ympäristön kannalta toimivan kierrätysjärjestelmän lisäksi myös kierrätettyjen materiaalien oikea hyödyntäminen on tärkeää ja niiden avulla saatavat säästöt neitseellisten raaka-aineiden käytössä auttavat kestävä kehityksen saavuttamisessa.

Haluan kiittää työn ohjaajaa ja valvojaa sekä työnantajaani ja kaikkia muita, jotka ovat myötävaikuttaneet siihen, että olen saanut tämän työn tehdyksi.

Lapjävällä 4.3.2016

Seppo Suomalainen

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|----|
| Tiivistelmä | |
| Abstract | |
| Alkusanat | |
| SISÄLLYSLUETTELO | 5 |
| LYHENTEET | 7 |
| MÄÄRITELMÄT | 8 |
| Kuvaluettelo, sivu 1 | 9 |
| Kuvaluettelo, sivu 2 | 10 |
| Liiteluettelo | 11 |
| 1 JOHDANTO | 12 |
| 1.1 Tutkimusten tausta | 12 |
| 1.2 Tutkimuksen tavoitteet | 14 |
| 1.3 Tutkimuksen lähtökohta ja rajaukset | 15 |
| 2 LAINSÄÄDÄNTÖ | 17 |
| 2.1 Jätelain määräykset | 17 |
| 2.2 Jätelain tuottajavastuu | 18 |
| 3 RENGASMATERIAALIT JA NIIDEN OMINAISUUDET | 19 |
| 3.1 Kumirenkaan historia | 19 |
| 3.2 Renkaan rakenne ja koostumus | 19 |
| 3.3 Renkaan lämpöarvo | 22 |
| 3.4 Rengaskumijätteet Euroopassa | 22 |
| 3.4.1 Kierrätysasteet ja määrät | 22 |
| 3.4.2 Eri käsittelytapojen muutokset Euroopassa | 24 |
| 3.4.3 Renkaiden kappalekoon mukainen nimeäminen, sekä granulaatin ja jauheen käyttö | 27 |
| 3.4.4 Renkaiden kierrätysjärjestelmät Euroopassa | 28 |
| 3.4.5 Renkaiden kierrätys Suomessa | 29 |
| 4 RENKAIDEN HAJOTTAMISMENETELMÄT | 32 |
| 4.1 Leikkausmenetelmät | 32 |
| 4.2 Rengaskumijätteen hajottaminen pyrolyysillä | 34 |
| 4.2.1 Pyrolyysitekniikan vaiheet | 34 |
| 4.2.2 Pyrolyysillä saatavat jakeet | 36 |
| 4.2.3 Kokemukset pyrolyysin hyödyntämisestä | 37 |
| 4.3 Devulkanointi | 39 |
| 4.3.1 Prosessin periaate | 39 |
| 4.3.2 Kemiallinen menetelmä | 40 |
| 4.3.3 Ultraääni menetelmä | 41 |
| 4.3.4 Mikroaalto menetelmä | 42 |
| 4.3.5 Biologinen menetelmä | 43 |
| 4.3.6 Devulkanointi höyryllä | 43 |
| 4.3.7 Arvio devulkanoitujen komponenttien uudelleenkäytettävyydestä | 44 |
| 4.4 Hajottamisessa syntyvät hiilimustat | 45 |
| 4.4.1 Yleistä hiilimustien koostumuksesta ja tuotannosta | 45 |
| 4.4.2 Eri hiilimustat | 47 |
| 4.4.3 Hiilimustan ominaisuudet | 48 |
| 4.4.4 Hiilimustan käyttö | 50 |
| 5 TUTKIMUSAINEISTO JA SKENAARIOIDEN LUOMINEN | 51 |
| 5.1 Tietolähteet ja niiden käyttö | 51 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2 | Pyrolyysiöljyä koskevat tiedot ja niiden analysointi | 52 |
| 5.3 | Muut pyrolyysissä saatavat tuotteet ja niiden analysointi | 55 |
| 5.3.1 | Hiilimusta | 55 |
| 5.3.2 | Teräsromu | 55 |
| 5.3.3 | Prosessikaasu | 56 |
| 5.4 | Devulkanointiin perustuva käyttö..... | 56 |
| 5.5 | Rengaskumirouheiden, -granulaattien ja -jauheiden tuotanto ja käyttö | 57 |
| 5.5.1 | Kokonaisten renkaiden ja rouheiden käyttö Suomessa..... | 57 |
| 5.5.2 | Rengasrouheiden käyttö biosuodatuksessa | 58 |
| 5.5.3 | Granulaattien ja jauheiden tuotanto Euroopassa | 59 |
| 5.5.4 | Granulaattien ja jauheiden käyttö Euroopassa | 60 |
| 5.5.5 | Renkaiden paalaaminen ja rengaspaalien käyttö..... | 62 |
| 5.5.6 | Renkaiden uudelleen pinnoittaminen | 63 |
| 5.6 | Materiaalisen hyödyntämisen taloudelliset linjaukset..... | 64 |
| 5.6.1 | Yleiset näkemykset | 64 |
| 5.6.2 | Renkaiden kierrätysmaksu | 64 |
| 5.6.3 | Jatkojalostuksen taloudellisuus | 65 |
| 5.7 | Rengaskumijätteen käyttö ja siihen vaikuttavat tekijät | 65 |
| 5.7.1 | EU:n jätehierarkia kiertotalouden näkökulmasta | 65 |
| 5.7.2 | Renkaiden uudelleen pinnoittaminen | 66 |
| 5.7.3 | Rengaskumijätteiden käyttö energian tuotannossa | 66 |
| 5.8 | Hyödyntämisen keskeiset ympäristövaikutukset..... | 67 |
| 5.8.1 | Maanrakennuksen ympäristövaikutukset | 67 |
| 5.8.2 | Polton ympäristövaikutukset | 68 |
| 5.8.3 | Tuotannon ja jalostuksen ympäristövaikutukset | 69 |
| 5.9 | Yhteenveto renkaiden hyötykäyttökohteiden analyysistä | 69 |
| 6 | TULEVAISUUSLINJAUSTEN SUUNNITTELUA KOSKEVAT TULOKSET .. | 70 |
| 6.1 | Käytöstä poistettujen renkaiden määrä..... | 70 |
| 6.2 | Rengasmäärät tulevaisuuden eri käyttötarkoituksissa | 70 |
| 6.3 | Tulevaisuuden hyödyntämistapoihin vaikuttavat seikat..... | 71 |
| 6.3.1 | Linjaus 1: Granulointi | 72 |
| 6.3.2 | Linjaus 2: Devulkanointi..... | 73 |
| 6.3.3 | Linjaus 3: Pyrolyysi | 73 |
| 6.3.4 | Linjaus 4: Energiahyötykäyttö | 74 |
| 7 | TULOSTEN TARKASTELU JA POHDINTA | 75 |
| 7.1 | Rengasalan yleiset tulevaisuusnäkymät | 75 |
| 7.2 | Potentiaalisimmat hyödyntämistavat..... | 76 |
| 7.3 | Hyödyntämismenetelmien rajoitteet..... | 78 |
| 7.4 | Granuloinnin valinta hyödyntämismenetelmäksi | 78 |
| 7.5 | Johtopäätelmät ja arvio alan kehittämistarpeista tulevaisuudessa..... | 79 |
| 7.6 | Tulosten luotettavuustarkastelu | 81 |
| 8 | YHTEENVETO | 82 |
| | Lähdeluettelo..... | 84 |
| | Liitteet | |

LYHENTEET

| | |
|-----------------|--|
| ASTM – luokitus | American Society for testing and materials, Yhdysvaltalaisen luokituslaitoksen hiilimustan luokitusjärjestelmä |
| BAT | Paras Käyttökelpoinen Tekniikka (engl. Best Available Techniques) |
| BRENT- laatu | Kevyt ja vähärikkinen Pohjanmeren öljyalaatu |
| CEN | European Committee for Standardization, Euroopan Standardointikomitea |
| CFC-yhdisteet | Chlorine-fluorine-carbon. Kloorista, fluorista ja hiilestä muodostuvia yhdisteitä, eli freoneja |
| CHP- laitos | Combined Heat and Power, Sähkön- ja lämmöntuotannon yhteislaitos |
| ELY – keskus | Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus |
| (EU ja) EU27 | Euroopan Unioni; 27 jäsenmaata |
| ERTMA | European Tyre & Rubber manufacturers`association, Euroopan Renkaiden ja Kumin valmistajien yhdistys |
| ETRA | The European Tyre Recycling Association, Euroopan Ren-gaskierrätys Yhdistys |
| HDPE | High-density polyethylene. Korkean tiheyden polyeteenimuovi (-polyeteeninen muovilaatu) |
| HMS 1&2 | Heavy Metal Scrap, kansainvälinen kierrätysteräksen kaup-palaatu |
| IARC | International Agency for Research on Cancer. Kansainväli-nen syöväntutkimuslaitos |
| PAH – yhdisteet | Polycyclic aromatic hydrocarbons. Polysykliset aromaattiset hiilivedyt |
| TEKES | Teknologian Kehittämiskeskus |
| UV- säteily | Ultraviolettisäteily, sähkömagneettinen säteily, jonka aallon-pituus on näkyvää valoa pienempi |

MÄÄRITELMÄT

| | |
|---------------------------|---|
| DEVULKANOINTI | Kumin vulkanoinnissa syntyneiden rikkisiltojen hajottaminen |
| HYÖDYNTÄMINEN | Toimi, jonka pääasiallisena tuloksena jätettä voidaan käyttää hyödylliseen tarkoitukseen |
| JÄTE | Mikä tahansa aine tai esine, jonka haltija poistaa käytöstä, aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä |
| KIERRÄTYS | Hyödyntämistoimi, jossa jätemateriaalit käsitellään uudelleen tuotteiksi, materiaaleiksi tai aineiksi joko alkuperäiseen tarkoitukseen tai muihin tarkoituksiin |
| KÄYTÖSTÄ POISTETTU RENGAS | Moottorikäyttöisen ja muun ajoneuvon tai laitteen rengas, joka poistetaan käytöstä vaurioitumisen tai loppuun kulumisen takia |
| PYROLYYSI | Kemiallinen reaktio, jossa orgaanisia kiinteitä aineita hajotetaan kuumentamalla hapettomissa olosuhteissa |
| TUOTTAJAVASTUU | Tuotteiden valmistajien ja maahantuojien vastuu tuotteidensa jätehuollosta Tuottajavastuusta säädetään jätelainsäädännössä. |
| TUOTTAJAYHTEISÖ | Jätelain määrittelemien tuottajien perustama yhteisö, jonka tehtävänä on huolehtia tuottajavastuulain määräysten mukaisen kierrätysvelvoitteen toteuttamisesta |
| UUSIOKÄYTTÖ | Käytöstä poistetun esineen tai muun hyötyjätteen käyttäminen uudelleen |

Kuvaluettelo, sivu 1

- Kuva 1. Jätehierarkia. Ympäristöministeriö, 2015
- Kuva 2. Renkaan rakenne. Michelin, 2014
- Kuva 3. Vuonna 2010 Euroopassa kerätyt renkaat. ERTMA, 2014
- Kuva 4. Renkaiden keräysprosentit Euroopassa vuonna 2010. ERTMA, 2014
- Kuva 5. Käytöstä poistettujen renkaiden keräysmäärät Euroopassa 1994 – 2012. ERTMA, 2014
- Kuva 6. Käytöstä poistettujen renkaiden hyötykäytön muutokset Euroopassa 1996 – 2012. ERTMA, 2013
- Kuva 7. Käytöstä poistettujen renkaiden materiaalivirtakaavio Euroopassa vuonna 2012. ERTMA, 2013
- Kuva 8. Renkaiden energiahyötykäyttö verrattuna materiaalihyötykäyttöön Euroopassa vuonna 2012. ERTMA, 2013
- Kuva 9. Tärkeimmät käyttökohteet kierrätetyistä renkaista valmistetuille kumigranulaateille ja jauheille 2010 ja 2012. ERTMA, 2013
- Kuva 10. Käytöstä poistettujen renkaiden kierrätysjärjestelmät Euroopassa 2013. ERTMA, 2013
- Kuva 11. Rengaskierrätyksen vaiheet. Suomen Rengaskierrätys Oy, 2015
- Kuva 12. Kaksi- roottorisen rengasleikkurin syöttökita. EcoGreen, 2015
- Kuva 13. Tela-alustainen mobiilileikkuri. Tana, 2015
- Kuva 14. Kiinteä 3 –leikkurinen rengasleikkausasema. Shredderhotline, 2015
- Kuva 15. Pyrolyysiprosessin prosessikaavio. Neste Jacobs, 2014
- Kuva 16. Rikkisiltojen hajottaminen ilman polymeeriketjujen katkeamista. Post-consumer, Tires back into new tires, 2013
- Kuva 17. Kemiallisen devulkanoinnin vaiheet. Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies, 2004
- Kuva 18. Devulkanointi ultraäänen avulla extruderin ollessa keskellä järjestelmää. Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies, 2004
- Kuva 19. Devulkanointi ultraäänen avulla extruderin ollessa järjestelmän loppupäässä. Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies, 2004
- Kuva 20. Devulkanointi mikroaaltojen avulla. Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies, 2004

Kuvaluettelo, sivu 2

Kuva 21. Biologisen devulkanoinnin vaiheet. Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies, 2004

Kuva 22. Devulkanointi höyryn avulla. Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies, 2004

Kuva 23. Hiilimustapartikkeli aggregaattiin kiinnittyneenä. IARC, 2010

Kuva 24. Materiaalivirtakaavio Nippon Steelin renkaiden käytöstä. Neste Jacobs, 2014

Kuva 25. Öljytuotteiden käytön kehittyminen Suomessa 2000 – luvulla. Öljy- ja biopolttoaineala ry, 2015

Kuva 26. Raakaöljyn Brent –laadun barrelihinnan hintakehitys 2000 – luvulla. Öljy- ja biopolttoaineala ry, 2015

Kuva 27. Pyrolyysibensiinin tuonti ja hinta. Neste Jacobs/Tullin tilastot, 2014

Kuva 28. Teräsromulaadun HMS 1&2 (80:20 mix) fob Rotterdam vientihinnan kehitys. Kuusakoski Oy, 2015

Kuva 29. Kaatopaikkarakentaminen. Suomen Rengaskierrätys Oy, 2013

Kuva 30. Renkaiden granuloinnissa saatavat lopputuotteet. Genan, 2013

Kuva 31. Läpileikkaus tyypillisestä tekonurmesta. Genan, 2015

Kuva 32. Rengaspaalien käyttö Rajaniemen eritasoliittymässä. Renkaankierrätys –lehti, 2/2005

Liiteluettelo

Liite 1. Käytöstä poistettujen renkaiden keräysvolyymit ja niiden käyttö Euroopassa 2011. 1 sivu.

Liite 2. Käytöstä poistettujen renkaiden keräysvolyymit ja niiden käyttö Euroopassa 2013. 1 sivu

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimusten tausta

Jätelainsäädännön mukaan ensisijainen tavoite on jätteen määrän vähentäminen ja toissijainen vaihtoehto on jätteen uusiokäyttö. Rengaskumijätteen osalta se tarkoittaa renkaiden uusiokäyttöä pinnoittamalla, jolloin rengaskumijätettä syntyy vain poistettavan ja uusittavan kumimateriaalin osalta. Vuosina 2009 – 2013 Suomessa pinnoitukseen päätyi vain 2 390 tonnia käytöstä poistettuja renkaita, joka on vain 1,0 % samoina vuosina vastaanotetuista käytöstä poistetuista renkaista (229 460 tonnia). Samoina vuosina materiaalihyötykäyttöön päätyi 194 750 tonnia, joka on 84,9 % vastaanotetuista renkaista. Käytännössä toissijainen vaihtoehto, joka on uusiokäyttö, ei tällöin toteudu. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2014.)

Muutamia erikoiskohteita lukuun ottamatta, joita ovat esimerkiksi ratsastusmaneesit ja urheilukentät materiaalihyötykäyttöön päätyneet renkaat on käytetty pääasiassa maanrakennuskohteissa korvaamaan neitseellisiä kiviaineksia. Kokonaisten renkaiden ja rengasrouheen hyviä puolia ovat rengasmateriaalin säilyminen maanvaraisissa kohteissa käytännössä muuttumattomina. Rengasmateriaali ei myöskään ime itseensä kosteutta ja se on kiviaineksia kevyempää. (Liikennevirasto 2015.)

Suomen sementtiteollisuudella on suunnitelmia nostaa rengasrouheen määrää tulevaisuudessa sementtiuunien polttoaineena. Se, tapahtuuko näin myös käytännössä riippuu pitkälti pääpolttoaineena olevan hiilen hinnasta, johon taas vaikuttaa hyvin voimakkaasti liuskekaasun hinta ja sen saatavuus. Konkreettisimmin tämä tulee esille Finnsementin Lappeenrannan tehtailla, jossa rengasrouhetta on tarkoitus syöttää sementtiuuniin pääpolttimen kautta. Tämän edellytyksenä on hyvin pieni raekoko, jonka saavuttaminen on mahdollista vain kiinteillä laitoksilla.

Uusia käyttökohteita renkaille ja rengasrouheelle mietitään koko ajan ja ensimmäiset kokeilut rengasrouheen käytöstä kasvualustana ravinnepitoisia vesiä puhdistaville mikrobeille ovat jo meneillään. (Haapamatti 2014.)

Uusista rengasrouheiden käyttötavoista erääksi lupaavimmista on osoittautumassa niiden käyttö ravinnepitoisten vesien puhdistuksessa. Ravinnepitoisten vesien puhdistuksessa käytettyjen rengasrouheiden käytön jälkeistä käsittelyä ei ole vielä ratkaistu, eikä rouheisiin sitoutuvista aineista ole vielä tutkimustietoa. Vaikka menetelmä saataisiin kaikilta osin toimivaksi, niin sen tuoma rengasrouheiden käytön lisäys ei riitä ratkaisemaan kierrätettyjen renkaiden hyötykäyttötavoitteita.

Suomi on sitoutunut jätteen määrän vähentämiseen ja jätteen hyötykäytön lisäämiseen, joten kokonaisjättemäärä vähenee ja tarvetta uusien kaatopaikkojen rakentamiseen ei enää ole. Suljettavien kaatopaikkojen määrä on jo myös vähentynyt huomattavasti ja tulee vähenemään edelleen. Tämä tarkoittaa rengaskumijätteen osalta suurimman yksittäisen käyttökohteen eli kaatopaikkarakentamisen poistumista hyötykäyttövalikoimasta.

Rengaskumijätteen käyttö kaatopaikkarakenteissa tulee tulevaisuudessa vähenemään huomattavasti nykyisestä tasosta: Tämä tarkoittaa useissa tapauksissa paikallisten hyötykäyttökohteiden poistumista käytettävissä olevista vaihtoehdoista, jolloin käytöstä poistettujen renkaiden kuljettaminen tulee kasvamaan.

Tulevaisuudessa rengaskumijätteelle tulee löytää uusia hyödyntämistapoja ja – menetelmiä, joiden avulla rengaskumijätteen sisältämät materiaalit ja energia saadaan paremmin hyödynnettyä. Osaa näistä materiaaleista voidaan käyttää raaka-aineena valmistettaessa uusia renkaita tai muita kumituotteita. Parantamalla rengaskumijätteen hyödyntämistä voidaan vähentää niiden osalta neitseellisten raaka-aineiden käytön määrää ja niiden kuljettamista, jolloin toimilla voidaan omalta osaltaan vaikuttaa luonnonvarojen kestävään kehitykseen ja sitä kautta edesauttaa ilmaston lämpenemistä ehkäisevää toimintaa.

Jätelainsäädäntöä ohjaavat ja määräävät tavoitteet Suomeen tulevat EU:n päätöksistä. Tämä yhdistettynä edellä mainittuihin asioihin tarkoittaa sitä, että tulevaisuudessa Suomen rengaskierrätys ja siihen liittyvät asiat ovat nykyistä tiiviimmin osa Eurooppalaista renkaiden kierrätystä ja rengaskumijätteen hyödyntämistä. Tässä DI-työssä Suomea on pyritty tarkastelemaan myös osana Eurooppaa käytöstä poistettujen renkaiden kierrätyksessä.

Euroopan komissio julkaisi ns. kiertotaloutta koskevan tiedonannon kesällä 2015. Tämä sisältää tiedonannon osat:

- kohti kiertotaloutta
- direktiivin eräiden jätedirektiivien muuttamiseksi
- tiedonannon resurssitehokkuuden mahdollisuuksista rakentamisessa
- pk – yritysten toimintasuunnitelman
- vihreää työllisyyttä koskevan aloitteen. (Sitra 2015.)

Kierrätettäväksi palautuvan rengaskumijätteen määrä on noin 50 000 tonnia vuodessa ja siitä noin 15 000 tonnia käytetään materiaalisessa uusiokäytössä ja tukipolttoaineena pääasiassa sementtiteollisuudessa. Jätehierarkian mukaan uudelleenkäyttö on etusijalla ja käytöstä poistettujen renkaiden osalta se tarkoittaa renkaiden uudelleen pinnoitusta. Pinnoitukseen päätyvien käytöstä poistettujen renkaiden osuus koko kierrätettävästä rengasvolymista Suomessa on viime vuosina ollut vain noin 1 prosentin luokkaa, joten siltä osin jätehierarkian vaatimukset eivät täyty. Materiaali hyötykäytöksi voidaan laskea käytöstä poistettujen renkaiden käyttöä räjäytysmattojen valmistuksessa ja rengasrouheen käyttöä vedenpuhdistajana. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2014.)

Käytöstä poistettujen renkaiden käyttö tukipolttoaineena on myös hyvin tärkeää ympäristönsuojelun ja hyötykäytön kannalta. Rengasmateriaalin korkean lämpöarvon avulla pystytään polttamaan energian- ja sementintuotannossa jakeita, jotka muuten päätyisivät loppusijoitukseen. Eli rengasrouheen polton avulla voidaan vähentää loppusijoitettavan jätemateriaalin määrää sekä neitseellisten polttoaineiden käyttöä.

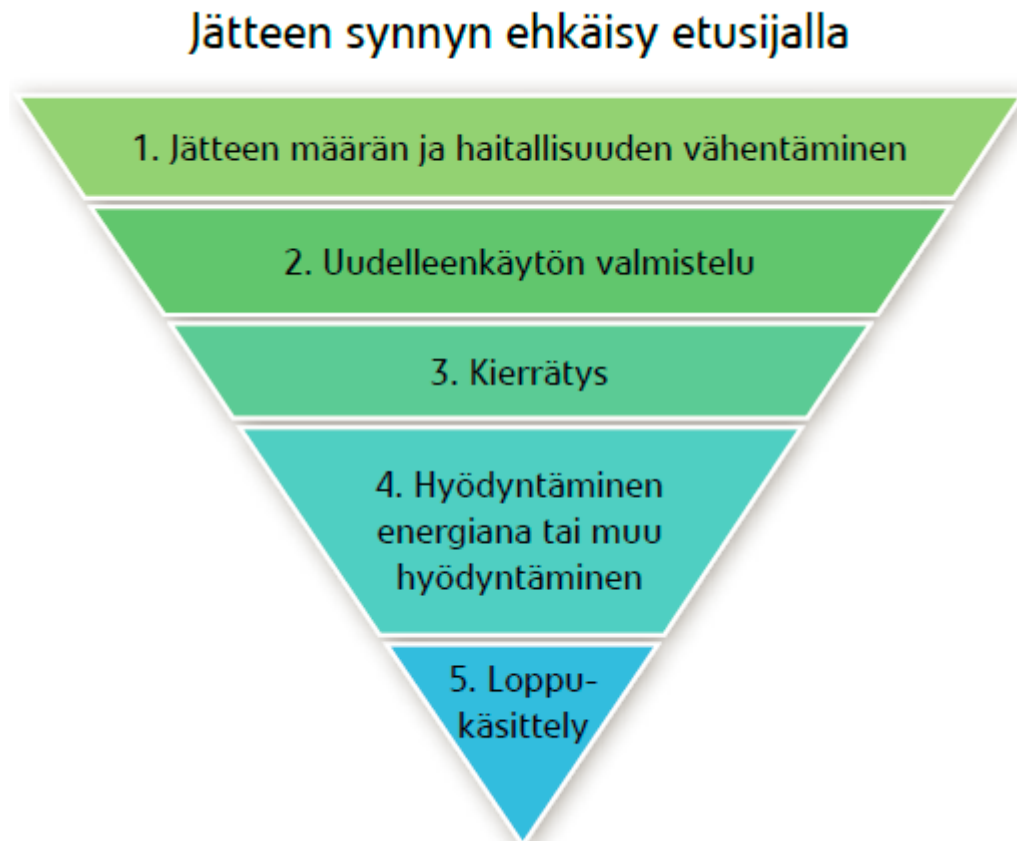
Tuotantolaitosten takaisinmaksuaika lasketaan yleensä kokonaistuotannon kautta ja liian pienellä vuosituotannolla takaisinmaksuaika muodostuu niin pitkäksi, että investointi ei ole taloudellisesti kannattava. Tuotantokustannukset ovat liikesalaisuuksia, eikä niitä yleensä julkaista. Työssä esiin tulevat hyvin suurpiirteiset analyysit tuotantokustannuksista perustuvat pääasiassa päättelyihin yleisellä tasolla.

Suomen Rengaskierrätys Oy julkaisi Helsingin Sanomissa tarjouspyynnön 3.12.2014 osallistumishakemuksesta tarjouskilpailuun rengaskierrätyksen operaattorisopimuksesta, joka alkaa 1.1.2016 lähtien. Osallistumishakemuksen asiakirjoissa mainitaan, että tuleva operaattorisopimus solmitaan viideksi vuodeksi ja tarjouspyynnössä tarkemmin määriteltävin ehdoin siihen on saatavissa jatko-optio. Varsinaiset tarjouspyyntöasiakirjat lähetettiin Suomen Rengaskierrätys Oy:n valitsemille toimijoille 22.1.2015 ja niissä kerrottiin jatko-option olevan noin kaksi vuotta, eli uusi operaattorisopimus voi olla maksimissaan seitsemän vuotta pitkä. (Suomen Rengaskierrätys Oy:n tarjouspyyntö 2015.)

Jotta tarvittava laitosinvestointi pystytään tekemään, niin sille tulee taata riittävä rengasvolyyymi investoinnin vaatimalle takaisinmaksuajalle. Eli mahdollinen laitosinvestointi Suomeen tulee vaikuttamaan myös seuraavaan operaattorisopimukseen, koska nykyisillä hinnoilla renkaiden tuominen Suomeen muualta ei ole taloudellisesti kannattavaa.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää vastauksia rengaskumijätteen sisältämien materiaalien ja energian parempaan hyödyntämiseen ja löytää rengaskumijätteen hyödyntämiseen uusia ja nykyisiä parempia menetelmiä, jotka sopisivat käytettäväksi Suomessa. Niiden tulee olla jätehierarkian etusijajärjestyksen mukaisia, ja käytöstä poistettujen renkaiden materiaalihyötykäyttöä parantavia.



Kuva 1. Jätehierarkia. (Ympäristöministeriö 2015.)

Tutkimuksen tavoitteisiin vaikuttavia reunaehdoja ovat ainakin kierrätettävien renkaiden volyymi, ympäristöasiat ja taloudelliset asiat.

Tutkimuksen tavoitteena oli

- Tunnistaa tiedossa olevista ja toimivista hyödyntämismenetelmistä ne, joiden avulla voidaan täyttää jätehierarkian ja tuottajavastuun asettamat vaatimukset
- Tutkia hyödyntämismenetelmien soveltuvuutta Suomeen ottamalla huomioon kierrätettävän rengasvolyymin suuruus ja kierrätettävien renkaiden jo olemassa olevat käyttökohteet
- Arvioida rengaskumijätteestä saatavien tuotteiden hyödyntämismahdollisuuksia ja niiden kysyntää tulevaisuudessa
- Syntyvien lopputuotteiden osalta pyritään myös arvioimaan niiden vaatimien varastotilojen tarvetta

1.3 Tutkimuksen lähtökohta ja rajaukset

Työssä keskityttiin pääasiassa niihin hyödyntämismenetelmiin, joita voidaan käyttää Suomessa ottaen huomioon meillä vallitsevat olosuhteet ja käytettävissä oleva volyymi. Talvi sinällään ei vaikeuta rengaskumijätteen prosessointia, koska kaikki tarvittavat toiminnot voidaan tehdä myös katetuissa ja lämmitetyissä tiloissa. Lämpimien tilojen tarve ja niiden koko vaikuttavat lähinnä eri menetelmien kustannuksiin.

Suurin haaste rengaskumijätteen hyödyntämisessä syntyville lopputuotteille voi olla niiden käyttö, mikäli ne ovat hyödynnettävissä vain lämpimänä kautena tai ne ovat luonteeltaan sellaisia, että ne vaativat säilyttämistä kuivissa sisätiloissa. Varastilojen tarve voi pahimmillaan estää menetelmän käytön. Syntyvien lopputuotteiden osalta työssä pyritään myös arvioimaan niiden todennäköisintä kauppaerän kokoa, jotta voidaan arvioida varastotilojen tarvetta.

Tutkimuksen yhtenä tärkeimpänä lähtökohtana oli kierrätettävän rengaskumijätteen määrä, joka vuonna 2013 oli 50 112 tonnia, mistä 33 661 tonnia päätyi materiaalihyötykäyttöön. Yleisellä tasolla renkaiden koko kasvaa ja niiden keräily tehostuu, joten renkaiden vastaanottomäärien voidaan olettaa tulevaisuudessa nousevan nykyisestä tasosta. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2014.)

Arvioitaessa tulevaisuuden hyötykäyttölinjauksia lähtökohtina olivat seuraavat asiat:

- renkaiden keräysvolyymi tulee olemaan tulevaisuudessakin noin 50 000 tonnia vuodessa, josta
 - pinnoitukseen päätyy 1 000 tonnia vuodessa
 - muuhun hyötykäyttöön 4 000 tonnia vuodessa
 - energiahyötykäyttöön 9 000 tonnia vuodessa
 - materiaalihyötykäyttöön 4 000 tonnia vuodessa. Koska kaatopaikkasijoittaminen loppuu lähes kokonaan, niin jäljelle jäävät vain muut maanrakennuskohteet ja niiden osuudeksi arvioidaan 4 000 tonnia vuodessa
- näiden ns. varmojen käyttömuotojen jälkeen jää se rengasvolyymi, jolle täytyy löytää tulevaisuudessa uusi hyödyntämistapa
 - vapaa kapasiteetti 32 000 tonnia vuodessa

Karkealla tasolla uuden teknologian vaatimaa rengaskumijätettä on vuositasolla tarjolla Suomessa noin 32 000 tonnia, joka osaltaan rajoittaa tulevia hyötykäyttöratkaisua valikoimaa. Osalle kumimateriaalin uusiokäyttömenetelmistä volyymi on käytännössä liian suuri huomioiden mahdollisuudet lopputuotteiden hyödyntämiseen Suomen rakennusteollisuudessa. Toisaalta taas monet laitosvaihtoehdot vaativat minimissään yli 30 000 tonnin vuosivolyymin, jotta niistä saadaan taloudellisesti kannattavia.

Tutkimuksen perusrajoituksia olivat edellä esitetyn perusteella:

- Tutkimuksessa on tietoisesti jätetty vähemmälle tarkastelulle osa jätekumimateriaalin nykyisistä hyötykäyttömahdollisuuksista, kuten rengasrouheiden käyttö kaatopaikkarakentamisessa, koska sen merkitys käyttökohteena tulee olemaan hyvin pieni
- Tutkimukseen ei myöskään ole otettu mukaan lähinnä idealistisia rengaskumimateriaalin käyttötapoja, joista esimerkkinä voidaan mainita paloihin leikatun henkilöauton renkaan käyttö vesikattomateriaalina. Näillä sinällään hyvillä ja usein myös innovatiivisilla käyttötavoilla on vain marginaalinen merkitys rengaskumijättemateriaalin hyödyntämisessä johtuen niiden pienestä volyymista
- Tutkimuksen fokus tässä DI-työssä on tarkastella uusia tulevaisuuden hyödyntämismenetelmiä, jotka vastaavat olemassa oleviin ja tiedossa oleviin tuleviin rengaskumijätteen kierrätys- ja hyötykäyttö vaatimuksiin, sekä sopivat Suomessa kerättävien rengasvolyymin käsittelyyn
- Tutkimuksessa ei myöskään tarkastella laajemmin ja yksityiskohtaisemmin rengaskumijätteen hyödyntämiseen liittyviä taloudellisia tekijöitä, koska niihin liittyy kehityksen nykyvaiheessa huomattavan paljon erilaisia epävarmuustekijöitä ja koska vertailukelpoista teollisen mittakaavan tuotantoa ei vielä ole

Tulosten osalta on pyrittiin myös siihen, että tulokset edustavat mahdollisimman ajankohtaisia näkemyksiä. Eri tekniikoiden osalta keskityttiin siihen, että ne vastaavat parhaiten tällä hetkellä tiedossa olevaa ns. Parasta Käyttökelpoista Tekniikkaa (BAT). Tarkastelussa pyrittiin myös keskittymään niihin vaihtoehtoihin, jotka ovat todennäköisimmät tulevaisuuden renkaiden kierrätyksessä ottaen huomioon myös kestävä kehitys ja kiertotalouden asettamat uudet vaatimukset. Merkittäviä yhteiskunnallisia ja ympäristöllisiä asioita otettiin huomioon mahdollisimman paljon

2 LAINSÄÄDÄNTÖ

2.1 Jätelain määräykset

Jätelain 646 (17.6.2011) tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle, sekä vähentää jätteiden määrää ja edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä. Lakia sovelletaan jätteeseen, roskaantumiseen, jätehuoltoon ja jätettä tuottaviin tuotteisiin ja toimintoihin. Laissa jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä tai on velvollinen poistamaan käytöstä.

Jätteen kierrätyksellä laissa tarkoitetaan toimintaa, jossa jäte valmistetaan tuotteeksi, materiaaliksi tai aineeksi alkuperäiseen tai muuhun tarkoitukseen. Jätteen kierrätyksenä ei pidetä jätteen hyödyntämistä energiana eikä jätteen valmistamista polttoaineeksi tai maan täyttöön sopivaksi aineeksi.

Jätteen hyödyntämisellä laissa tarkoitetaan toimintaa, jonka ensisijaisena tuloksena jäte käytetään hyödyksi tuotantolaitoksessa tai muualla taloudessa siten, että sillä korvataan tarkoitukseen muutoin käytettäviä aineita.

Jätelaissa korostetaan etusijajärjestyksen noudattamista, jos se vain on mahdollista. Ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää, toissijaisesti on pyrittävä jätteen uusiokäyttöön. Jos kierrätys ei onnistu, niin sitten jäte on hyödynnettävä muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Mikäli hyödyntäminen ei ole mahdollista, niin viimeisenä vaihtoehtona on jätteen loppusijoittaminen. Jätteen tuottajien on noudatettava etusijajärjestystä sitovana siten, että saavutetaan kokonaisuutena arvioiden lain tarkoituksen kannalta paras tulos.

Jätelain mukaan toiminnan yleinen ohjaus, seuranta ja kehittäminen kuuluvat ympäristöministeriölle. ELY – keskusten tehtävänä on ohjata ja edistää lain ja sen nojalla annettujen säädösten tarkoittamien tehtävien hoitamista toimialueellaan.

Vuonna 2016 voimaan astuvat uudet jätelakiin päätetyt muutokset ja siihen liittyvä valtioneuvoston asetus orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellosta. Niiden johdosta rengasrouhetta ei voida enää käyttää kaatopaikkojen pohjarakenteiden kuivatuksessa ja salaojituksessa. Rengasrouhetta voidaan käyttää vain tiivistyskerroksen yläpuolisissa osissa.

2.2 Jätelain tuottajavastuu

Jätelain (646, 17.6.2011) mukaan tuottajan on järjestettävä markkinoille saattamiensa tuotteiden jätehuolto, sekä vastattava niistä aiheutuvista kustannuksista. Jätteen tuottajalla on myös ensisijainen oikeus jätehuollon järjestämiseen. Muut toimijat voivat perustaa rinnakkaisia järjestelmiä vain yhteistoiminnassa tuottajan kanssa. Tämä määräys ei koske tuotteiden uudelleenkäyttöä tai sen valmisteluun liittyviä palveluita.

Jätelaissa on määrätty Pirkanmaan ELY – keskus valvomaan tuottajavastuuta valtakunnallisena viranomaisena. Jätelain mukaan jätettä saa luovuttaa vain toimijoille, jotka ovat hyväksytyt jätehuoltorekisteriin ja joilla on ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa jätteen vastaanottamiseen ja käsittelyyn.

Lain mukaan tuottajavastuu koskee myyntitavasta riippumatta moottorikäyttöisen ja muun ajoneuvon tai laitteen renkaan tuottajaa, jona pidetään tällaisen renkaan valmistajaa, maahantuoja tai pinnoittajaa taikka renkailla varustetun ajoneuvon tai laitteen maahantuoja.

Tuottajan on järjestettävä tuottajavastuulain määrittelemien tuotteiden vastaanotto siten, että tuotteen voi maksutta ja vaivattomasti luovuttaa näin järjestettyyn vastaanottoon. Käytöstä poistettujen tuotteiden vastaanotto on järjestettävä siten, että tuotteiden ja niiden osien uudelleenkäyttöä edistetään.

Tuottajan on pidettävä kirjaa markkinoille saattamiensa tuotteiden ja vastaanottamiensa käytöstä poistettujen tuotteiden lajista, laadusta ja määrästä. Kirjanpidossa on myös eriteltävä tarvittaessa toimituskohteittain uudelleenkäyttöön, uudelleenkäytön valmisteluun, kierrätykseen, muuhun hyödyntämiseen ja loppukäsittelyyn toimitetut tuotteet. Näistä tiedoista on vuosittain toimitettava tiivistelmä Pirkanmaan ELY – keskukselle.

Tuotteen jakelijan on otettava myyntipisteessään maksutta vastaan käytöstä poistetut renkaat, jos ne lajiltaan ja määrältään vastaavat ostettavia uusia renkaita. Jakelija voi myös järjestää vastaanoton muualla kuin myyntipisteessä, jos vastaanottopaikka on yhtä helposti saavutettavissa kuin myyntipiste ja tämä on tuottajan järjestämän kuljetuksen kannalta tarkoituksenmukaista.

Tuottajat voivat yhdessä perustaa oikeustoimikelpoisen tuottajayhteisön hoitamaan laissa säädettyjä velvollisuuksia, siihen ei saa kuulua muita kuin tuottajia. Tuottajavastuuta koskevat velvollisuudet voidaan siirtää sellaiselle tuottajayhteisölle, joka on hyväksytty tuottajarekisteriin.

Tuottajayhteisössä velvoitteet on jaettava tuottajien kesken tasapuolisesti huomioiden toiminnan laatu ja laajuus. Tuottajayhteisön on pidettävä julkisesti saatavilla oleva ajantasaista luetteloa tuottajista, jotka ovat siirtäneet sille tuottajavastuunsa. Tuottajayhteisöllä on oltava riittävät taloudelliset voimavarat sille siirrettyjen tuottajavastuiden hoitamiseksi vähintään kuuden kuukauden ajan.

3 RENGASMATERIAALIT JA NIIDEN OMINAISUUDET

3.1 Kumirenkaan historia

Irlantilainen eläinlääkäri John Boyd Dunlop keksi ilmakumirenkaan poikansa polkupyörään 1887, mutta vasta ranskalaisten Eduard ja Andre Michelinin 1891 kehittämä renkaan vaihtomenetelmä johti ilmarenkaan käytön todelliseen yleistymiseen ja ilmakumirenkaat tulivat Henry Fordin valmistamiin autoihin 1898. (Encyclopedia Britannica-2015.)

Luonnonkumi oli aluksi lähes ainoa käytetty materiaali ilmakumirenkaissa, vaikka sen kulutuskestävyys ei ollut kovin hyvä. Ensimmäinen todellinen parannus oli puuvillasta valmistetun kudusrungon korvaaminen pelkistä loimilangoista tehdyllä koordilla. (Palo-Oja ja Willberg 1998.)

Ristikudosrenkaan periaate patentoitiin 1908 ja runkokudoksen materiaaliksi tuli 1936 raion, jonka rinnalle nousivat polyamidikuidut nailon sekä myöhemmin perlon. Vyörenkaan idea esitettiin ensimmäisen kerran 1917 englannissa. Ajatus teräslangan käytöstä rengasta vahvistavana materiaalina on peräisin jo 1840 – luvulta, mutta vasta 1936 Michelin yhtymä toimitti ensimmäiset teräskudoksiset renkaat Ranskan kiskobusseihin. (Michelin 2014.)

Goodyear yhtymä valmisti ensimmäisen täysin synteettisestä kumista tehdyn autonrenkaan 1943, Michelin julkisti ensimmäisen teräskudosvyöllä varustetun vyörenkaan 1947 ja 1950 – luvulla tulivat markkinoille ensimmäiset sisärenkaattomat renkaat. (Goodyear 2015.)

Renkaan tehtävänä on luoda juostava yhteys ajoneuvon ja tienpinnan välille. Rengas siirtää ajoneuvon liiketilasta syntyvät voimat tiehen ja ohjaa vierimistä kulutuspinntansa kautta. Erilaisia renkaita on todella laaja valikoima ja mm. autojen kasvaneet nopeudet sekä tienpintojen paraneminen ovat johtaneet renkaiden jatkuvaan kehittymiseen.

3.2 Renkaan rakenne ja koostumus

Renkaan muodostaa ontto runko, jossa on alustaa vasten painautuva kulutuspinna. Joitakin erikoisrenkaita lukuun ottamatta renkaat ovat ilmatäytteisiä. (Palo-Oja ja Willberg 1998.)

Ohjattavuus- ja joustovaatimusten perusteella renkaalla täytyy olla kudusrunko, jonka johdosta siltä vaaditaan paljon jatkuvan vetojännityksen vuoksi. Tähän tarpeeseen renkaan kudosta on kehitetty koko renkaan historian ajan. Ensimmäiseksi tulivat ristikudosrenkaat, joissa kudosterrokset ovat ristikkäin toisiinsa nähden. Vyörenkaassa kudosten loimilangat ovat renkaan säteen suuntaiset ja sen kudusrunkoa vahvistetaan vyöllä, joka on valmistettu tekstiili- tai teräskudoksesta. (Michelin 2014.)

Renkaan sivut ja kulutuspinna muodostavat pintakumin. Vannetta vastaan oleva renkaan osaa kutsutaan renkaan kannaksi tai jalka-alueeksi ja sitä vahvistetaan kumin sisään sijoitetulla jäykällä teräsvaijerilla. Jalka-alue on tärkein ajo-ominaisuuksien säätelijä, koska sen kautta mm. ohjausliikkeet välittyvät renkaan pintaan ja ajotuntuma tien pinnasta kuljettajalle.

Renkaan rakenne on esitetty kuvassa 2. (Michelin 2014.)



Selitteet:

1. sisäkumikalvo, joka on synteettistä kumia
2. kudusrunko, joka koostuu tekstiililangoista, joita henkilöauton renkaassa on noin 1 400, sekä tekstiililankakerrosten välissä olevasta kumista
3. jalka-alue
4. reunavaijeri
5. renkaan sivu
6. tukivyöpaketti, jossa ovat teräksestä koostuvat kumilla ympäröidyistä koordilangoista valmistetut kudokset
7. 0 – asteinen vyö, jonka tehtävänä on vähentää kitkan aiheuttamaa lämpenemistä ja estää keskipakovoiman aiheuttamia kulutuspinnan muutoksia
8. kulutuspinna

Kuva 2. Renkaan rakenne ja koostumus. (Michelin 2014.)

Renkaiden koostumus riippuu tyypistä ja valmistuspaikasta. Länsimaisissa renkaissa on synteettisten kumilaatujen (butaanidieeni kumi, styreeni-butadienikumi) osuus korkea. Talvirenkaissa taas luonnonkumia on enemmän kuin kesärenkaissa. Rengas koostuu yli 30 komponentista. (Tekes 2002.)

Renkaan rungon avulla rengas kiinnitetään vanteeseen ja se toimii alustana varsinaiselle kulutuspinnalle. Renkaan runko muodostuu kumista ja erilaisista kudusrakenteista, joilla runkoa vahvistetaan ja lisätään sen kantavuutta. Renkaissa oleva kumimateriaali on luonnonkumin ja synteettisen kumin seos, jossa niitä on yleensä suhteessa 50/50.

Taulukossa 1. on esitetty renkaan materiaalinen koostumus Euroopassa ja taulukossa 2. vastaavia tietoja Suomesta.

Taulukko 1. Uuden ja käytetyn henkilöautonrenkaan koostumus painoprosentteina (ETRA 2014.)

| Aineosa | Uusi henkilöauton rengas, Reseptin mukainen sisältö | Käytetty henkilöauton rengas, Ohjeellinen sisältö | Huomautuksia |
|----------------------------------|---|---|---|
| Luonnonkumi ja synteettinen kumi | 42,7 % | 41,9 % | |
| Hiilimusta | 21,4 % | 21,9 % | |
| Piidioksidi | 6,9 % | 5,1 % | |
| Rikki | 1,3 % | 1,4 % | |
| Sinkkioksidi | 1,6 % | 1,6 % | Sinkkioksidi reagoi kovettumisen aikana ja se voidaan havaita analysoimalla |
| Öljyt | 6,6 % | 5,9 % | |
| Steariinihappo | 0,9 % | 1,0 % | |
| Kiihdyttimet | 1,0 % | - | Kiihdyttimet kuluvat valmistusprosessissa, joten niitä ei löydy valmiista renkaasta |
| Hajoamistuotteet | 1,5 % | 1,6 % | Pitoisuudet laskevat renkaan käyttöiän kasvaessa |
| Teräsvyökudokset | 11,5 % | 13,3 % | |
| Tekstiilikudokset | 4,7 % | 5,4 % | Kuorma-auton renkaissa ei ole tekstiilikudoksia |

Taulukko 2. Renkaan materiaallinen koostumus painoprosentteina (Ranta 2002.)

| Raaka-aine | Ristikudos | Teräsvyö |
|----------------------------------|------------|----------|
| Luonnonkumi ja synteettinen kumi | 47,0 % | 43,0 % |
| Hiilimusta | 21,5 % | 21,0 % |
| Teräs | 16,5 % | 27,0 % |
| Kuitu | 5,5 % | - |
| Sinkkioksidi | 1,0 % | 2,0 % |
| Rikki | 1,0 % | 21,0 % |
| Muut | 7,5 % | 6,0 % |

3.3 Renkaan lämpöarvo

Kierrätetyistä renkaista saatava kumiromu vastaa lämpöarvoltaan lähes polttoöljyä. Tyypillisiä rengasromun analyysiarvoja ovat:

- lämpöarvo noin 33 MJ/kg
- tuhkapitoisuus 12 – 15 %
- tilavuuspaino kokonaisina renkaina noin 150 kg/m³ ja murskattuna 450 kg/m³
- rikkipitoisuus noin 1 %
- rengasmurskeen kosteus on noin 1 %

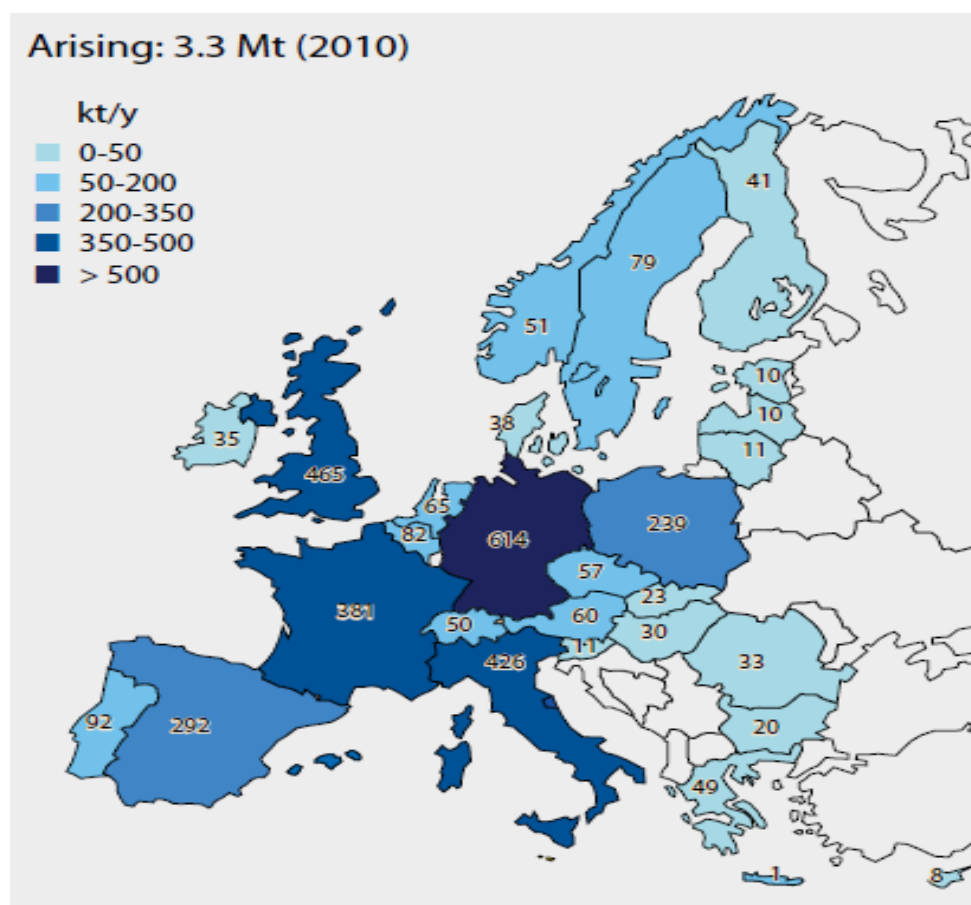
(Ranta 2002.)

3.4 Rengaskumijätteet Euroopassa

3.4.1 Kierrätysasteet ja määrät

Vuonna 2010 Euroopassa syntyi käytöstä poistettuja renkaita yhteensä 3,3 miljoonaa tonnia (EU 27 + Norja ja Sveitsi). Lajittelun jälkeen niistä 2,7 miljoonaa tonnia palautui uudelleen käyttöön ja kierrätykseen. Käytöstä poistettujen renkaiden kierrätysaste oli 96 %. (ETRMA 2014.)

Käytöstä poistettujen renkaiden keräysvolyymit Euroopassa on esitetty kuvassa 3. (ETRMA 2014.)



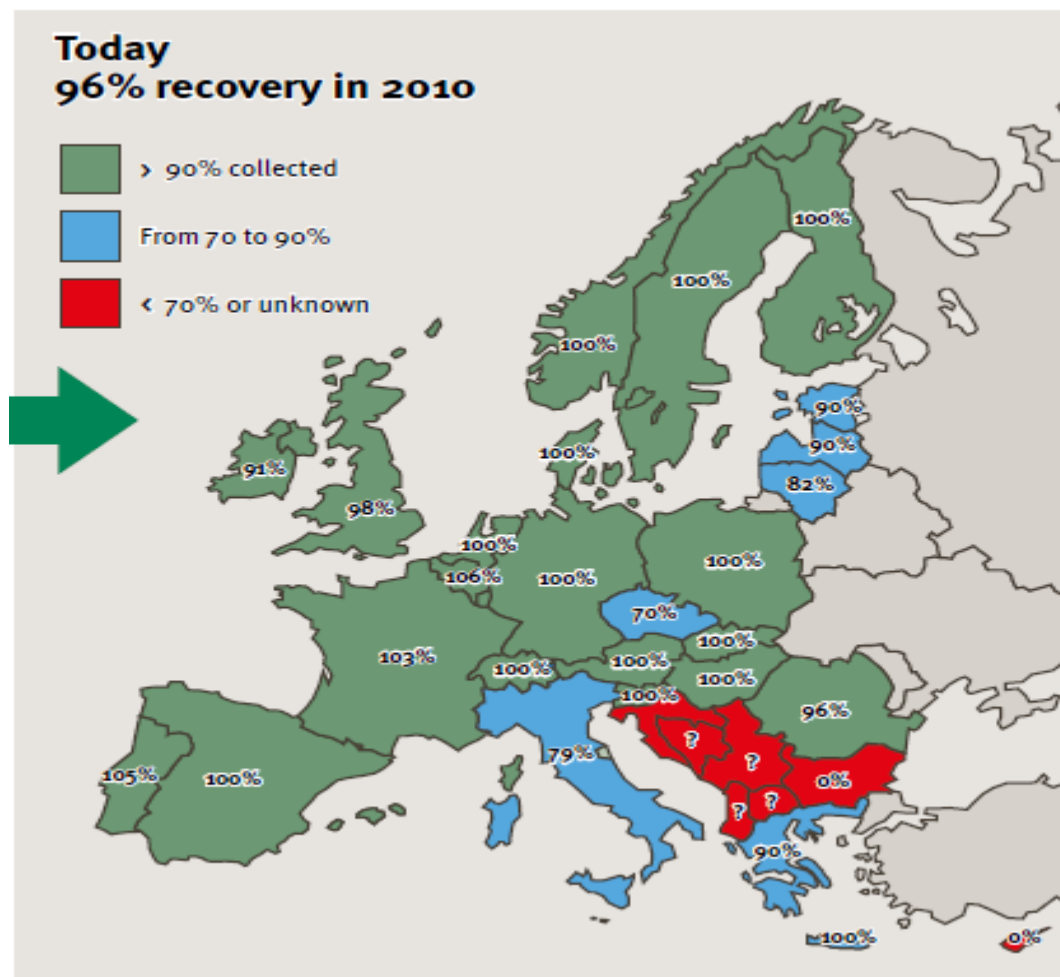
Kuva 3. Vuonna 2010 Euroopassa kerätyt renkaat kt/v (ETRMA 2014.)

Vuonna 2010 volyymiltään viisi suurinta rengasjätettä kerännyttä maata (kuva 2) olivat Saksa 614 tonnia, Englanti 465 tonnia, Italia 426 tonnia, Ranska 381 tonnia, ja Espanja 292 tonnia.

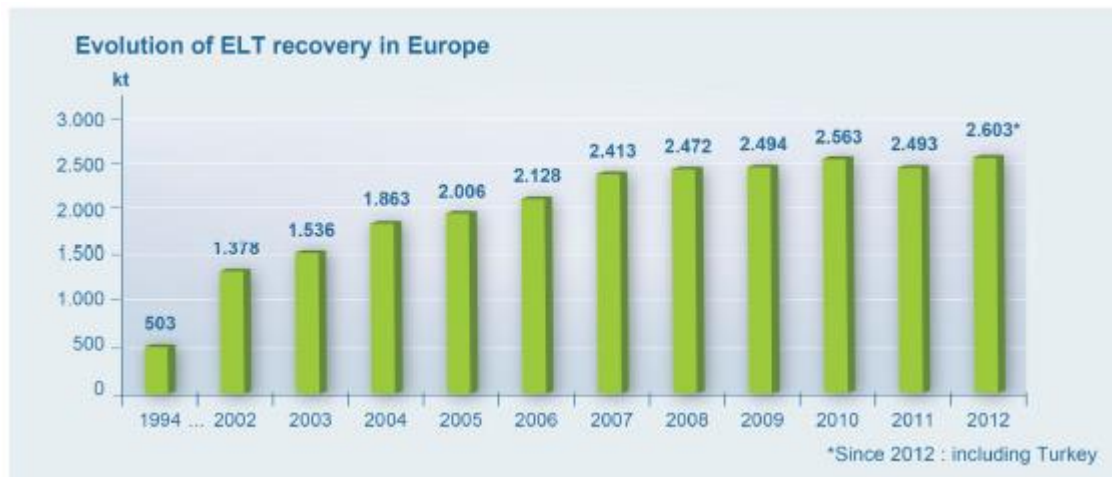
Italian kierrätysprosentti oli 79 %, Englannin 98 %, Espanjan 100 %, Saksan 100 % ja Ranskalla peräti 103 %. Selitys yli 100 % keräysasteelle on virallisten maahantuojien järjestelmien ulkopuolelta maahan tulleet renkaat. Kokonaiskierrätysaste käytöstä poistetuilla renkailla Euroopassa vuonna 2010 oli 96 %. Tarkkailussa mukana olleista maista 23 pääsi yli 90 % keräysasteeseen ja 18 maata saavuttivat täyden 100 % kierrätysasteen käytöstä poistetuissa renkaissa. (ETRMA 2014.)

Käytöstä poistettujen renkaiden 96 % keräysastetta voidaan verrata vaikka samana aikana samalta alueelta kierrätettyyn muoviin (kierrätysaste 58 %). Molemmat materiaalit ovat luonteeltaan sellaisia, ettei niillä ole juurikaan uusiokäyttötapoja kuluttajien keskuudessa. Muoviin verrattuna renkaiden kierrätysastetta voidaan pitää todella hyvänä. (ETRMA 2014.)

Käytöstä poistettujen renkaiden kierrätysasteet Euroopassa 2010 on esitetty kuvassa 4.



Vuodesta 1996 lähtien Euroopassa (EU27 + Norja ja Sveitsi) on kerätty ja kierrätetty käytöstä poistettuja renkaita yli 24 miljoonaa tonnia. Kerätty ja kierrätetty rengasvolyyymi on 2,5 -kertaistunut 2000 luvulla ja 5 – kertaistunut vuoteen 1994 verrattuna. (ETRMA 2014.)



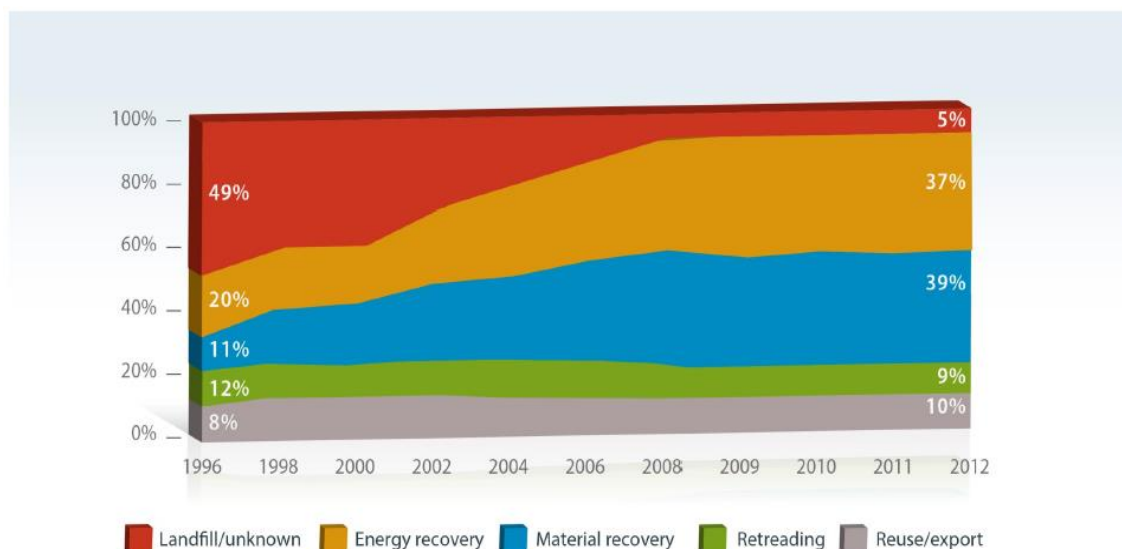
Kuva 5. Käytöstä poistettujen renkaiden keräysmäärät Euroopassa 1994 – 2012. (ETRMA 2014.)

Käytöstä poistettujen renkaiden kierrätysvolyyymien tilanteesta on saatavilla lisätietoja. (ETRMA 2014.) Liitteessä 1 on esitetty yksityiskohtaisempia tietoja.

3.4.2 Eri käsittelytapojen muutokset Euroopassa

Samaan aikaan keräysmäärien kasvun kanssa on käytöstä poistettujen renkaiden käyttö myös muuttunut huomattavasti ja esimerkiksi materiaalihyötykäyttö on kasvanut 11 % prosentista 39 % prosenttiin. Tonneiksi muutettuna tämä tarkoittaa sitä, että vuonna 1996 materiaalihyötykäyttöön päätyi alle 100 tonnia käytöstä poistettuja renkaita, kun vuonna 2012 vastaava luku on yli 1 000 tonnia. Renkaiden keräyksen ja kierrätyksen kehittymisen yhteydessä on pystytty myös kehittämään niiden hyötykäyttöä.

Kuvassa 6. on esitetty Euroopan käsittelytapojen muutokset 1996 – 2012.



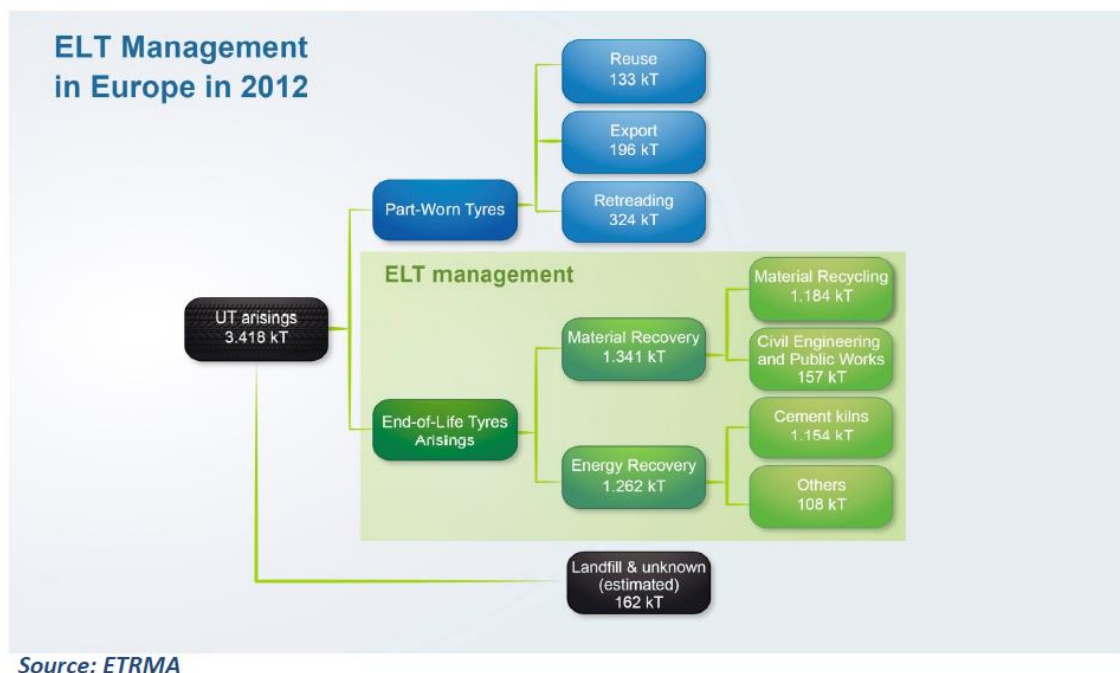
Source: ETRMA

Kuva 6. Käytöstä poistettujen renkaiden hyötykäytön muutokset Euroopassa 1996 – 2012. (ETRMA 2013.)

Käytöstä poistettujen renkaiden hyötykäytön osalta voidaan kuvaajan (kuva 5) perusteella todeta, että paljon puhuttu EU:n jätehierarkia ei ole juurikaan muuttanut rengaskumimateriaalin hyödyntämistä Euroopassa. Kuvan 5 perusteella vuonna 2012 kerätyistä renkaista kolmannes hyödynnettiin materiaalina, kolmannes energiahyötykäytössä. Uudelleen pinnoitukseen, uudelleen käyttöön ja vientiin päätyi viidesosa kerätyistä renkaista.

Yhtenä selityksenä voi olla se, että alalla oli jo valmistauduttu tiedossa oleviin muutoksiin ja toiminta oli jo saatettu uusien määräysten mukaiseksi. Kuvaajaa (kuva 5) voidaan myös tulkita siten, että huomattava osa keräilyn tehostumisesta syntyvästä hyödystä on menetetty, koska rengaskumimateriaalin hyötykäytössä ei ole tapahtunut mitään kehitystä vuoden 2008 jälkeen. Uudelleen käyttö/vienti ja pinnoitus ovat yhteen laskettuna pienentyneet yhden prosentin vuodesta 1996. Täytyy kuitenkin muistaa, että tonneiksi muutettuna volyymi on 10 – kertaistunut.

Kuvassa 7. on esitetty käytöstä poistettujen renkaiden materiaalivirtakaavio Euroopassa vuonna 2012.



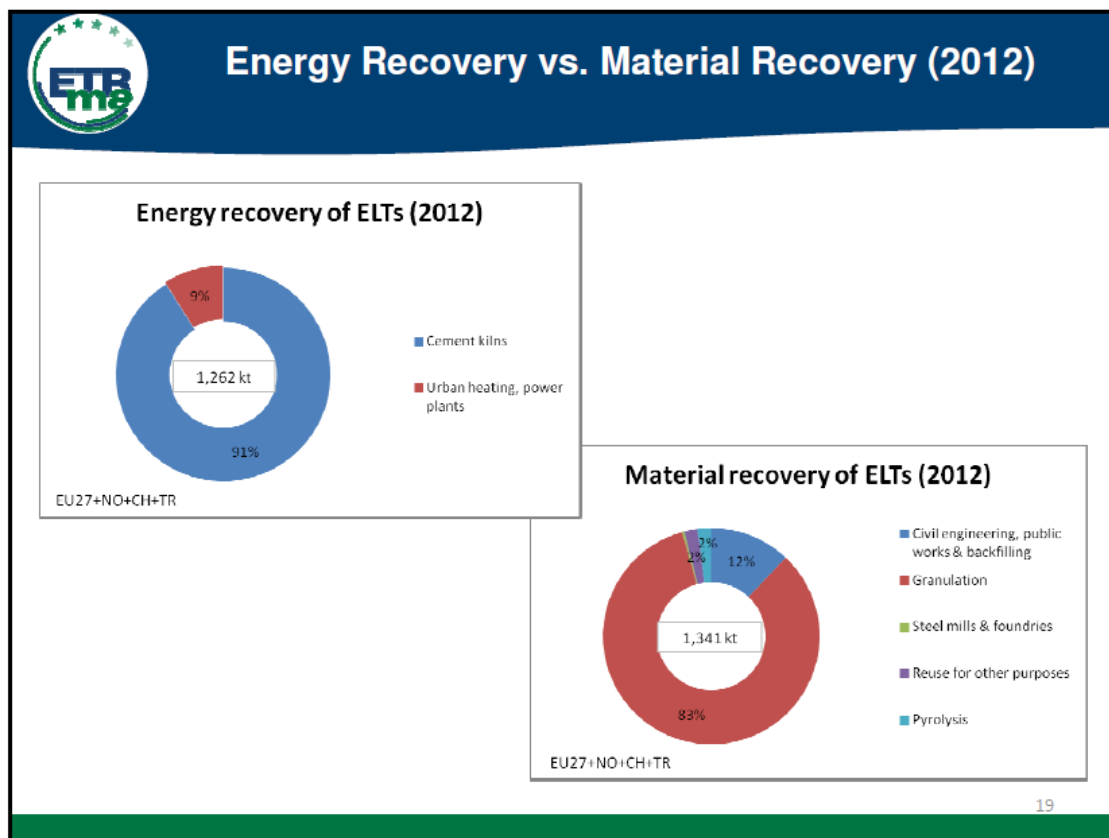
Kuva 7. Käytöstä poistettujen renkaiden materiaalivirat Euroopassa vuonna 2012. (ETRMA 2013.)

Kuten kuvasta 7 nähdään, niin energiahyötykäyttöön päätyvistä renkaista yli 90 % päätyy Euroopassa poltettavaksi sementtiuuneissa. Käyttötapa poikkeaa muusta energiahyötykäytöstä siinä, että varsinaista polttojätettä ei synny lainkaan. Tämä johtuu siitä, että rengaskumijäte poltetaan sementtiuunin sisällä, jolloin tuhkat ja muut palamattomat ainesosat sekoittuvat sementtiin.

Samoin kuvasta 7 nähdään, että materiaalihyötykäyttöön päätyvistä renkaista yli 80 % päätyy materiaalihyötykäyttöön, eli käytännössä granulointiin. Kierrätetyistä renkaista 10 % käytetään erilaisissa rakennuskohteissa, joista yleisin on kumirouheen käyttö katu- ja pinnoituksessa. Ns. kumiasfaltilla saadaan pienennettyä liikenteen aiheuttamia renkäsääniä.

Kuvassa 8 on esitetty rengasjätteen hyödyntäminen energiana Euroopassa. Pyrolyysin osuus oli vain 2 % kierrätettyjen renkaiden käytöstä, eli noin 27 tonnia vuonna 2012. (ETRMA 2013.)

Euroopassa vuonna 2012 pyrolyysiin käytettyjen renkaiden määrä on noin puolet Suomessa kerättävien käytöstä poistettujen renkaiden kokonaisvolyymistä. DI – työn liitteen 2. mukaan vuonna 2013 Euroopassa pyrolyysiin päätyi ainoastaan 14 654 tonnia renkaita, eli pyrolyysin osuus olisi laskenut vielä entisestään. Luvut kertovat suoraan sen, että lukuisista yrityksistä huolimatta renkaiden pyrolyysia ei ole saatu toimimaan teollisessa mittakaavassa.



Kuva 8. Renkaiden energiahyötykäyttö verrattuna materiaalihyötykäyttöön Euroopassa vuonna 2012. (ETRMA 2013.)

Kuvasta 8 nähdään, että vuonna 2012 energiahyötykäyttöön päätyi Euroopassa yhteensä 1 262 000 tonnia renkaita, josta 91 % poltettiin sementtiuuneissa ja loput 9 % voimaloissa. Materiaalihyötykäyttöön päätyi 1 341 000 tonnia renkaita, joista granuloidavaksi meni 4/5 osa ja maanrakennuskäyttöön kymmenesosa.

EU:n jätehierarkian mukaa (kuva 1) energiahyötökäyttö on neljäntenä ja viimeisenä vaihtoehtona ennen loppusijoitusta, joten tällä hetkellä renkaiden hyötykäyttö Euroopassa ei toteuta jätehierarkian vaatimuksia.

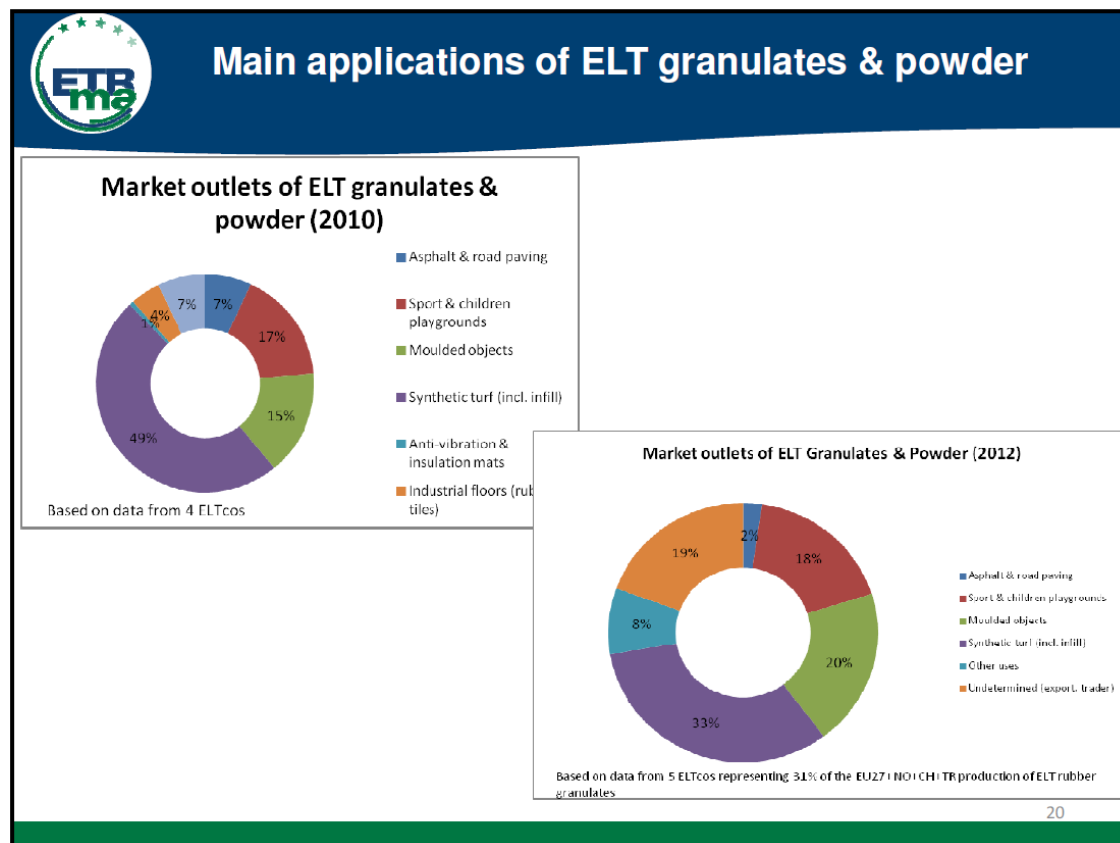
3.4.3 Renkaiden kappalekoon mukainen nimeäminen, sekä granulaatin ja jauheen käyttö

CEN (European Committee for Standardization) on standardissaan CEN/TS 14243 määritellyt käytöstä poistetuista renkaista mekaanisesti tuotetuille jakeille seuraavat nimet ja niille tyypilliset kappalekoot

- leike/leikattu rengas (engl. cuts): 300 mm ja yli
- murske/rouhe (engl. shreds): 20 – 400 mm
- lastu (engl. chips): 10 – 50 mm
- granulaatti (engl. granulates) 0,8 – 20 mm
- jauhe (engl. powders): alle 0,8 mm

Eri laadut täytyy pystyä erottamaan niiden mittojen perusteella. Muun kuin kumimateriaalin osuudet määritellään testaamalla. (CEN 2014.)

Kuvassa 9. esitetään käytöstä poistetuista renkaista valmistettujen kumigranulaatin ja kumijauheen tärkeimmät käyttökohteet Euroopassa 2010 ja 2012.



Kuva 9. Tärkeimmät käyttökohteet kierrätetyistä renkaista valmistetuille kumigranulaateille ja – jauheille 2010 ja 2012. (ETRMA 2013.)

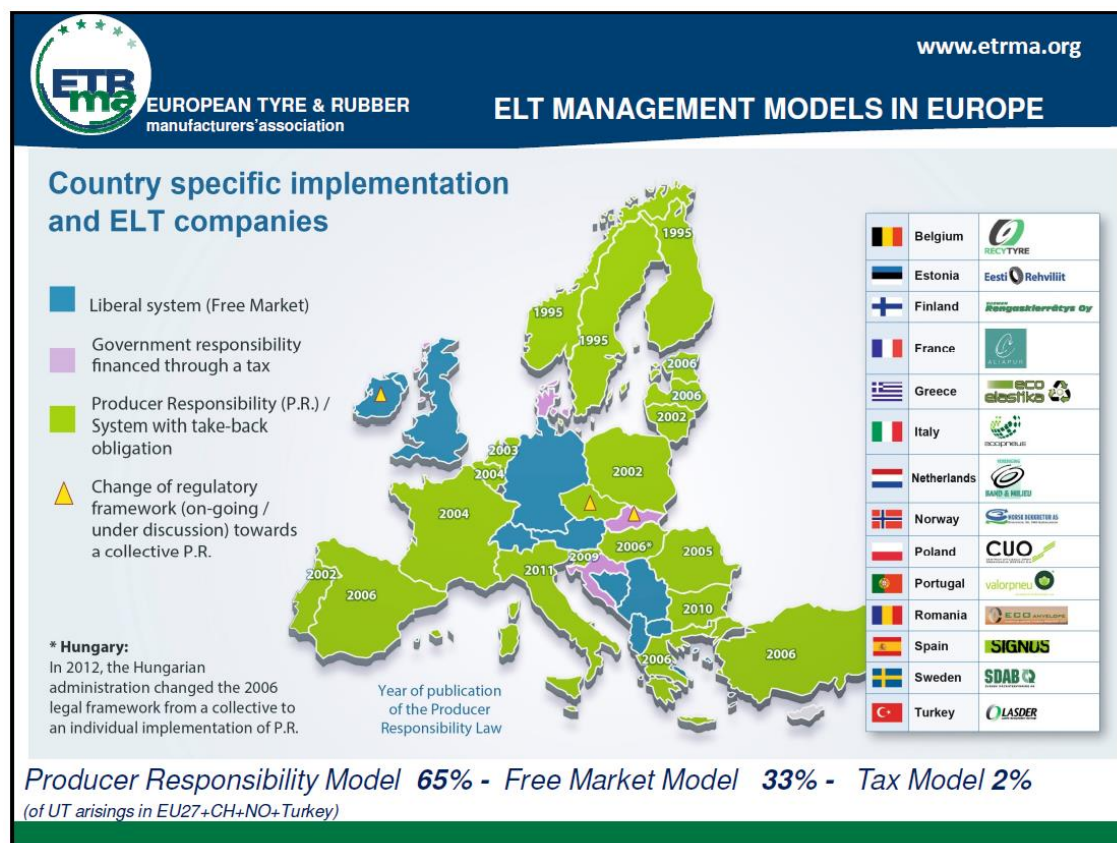
Kumigranulaatin ja – jauheen käyttömuotojen tarkastelujakso kuvassa 9 on vain kaksi vuotta, joten siinä oleviin muutoksiin tulee suhtautua varauksellisesti, eikä niistä voi tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Rakentaminen kokonaisuudessaan on pysynyt lähes samalla tasolla ja suurin yksittäinen muutos tulee vientitoimitusten osuuden noususta lähes viidesosaan koko tuotannon määrästä.

3.4.4 Renkaiden kierrätysjärjestelmät Euroopassa

EU:n alueella on kolme eri tapaa hoitaa käytöstä poistettujen renkaiden kierrätys (kuva 10). Näistä yleisin on tuottajavastuuseen perustuvat tapa ja mm. Norja, Ruotsi, Suomi ja Baltian maat ovat valinneet sen. Tuottajavastuu -järjestelmässä renkaiden maahantuojat ja – tuottajat ovat yhdessä perustaneet kuhunkin maahan oman yhteisen yhtiön, joka vastaa kaikista renkaiden kierrätykseen kuuluvista käytännön toimista kyseisessä maassa. Nämä yhtiöt ovat itsenäisiä yhtiöitä, eikä niiden toiminta yleensä ylitä maarajoja. Kustannukset katetaan uusista renkaista perittävillä kierrätysmaksuilla. Euroopassa on tällä hetkellä 14 eri tuottajayhteisöä. (ETRMA 2014.)

Toiseksi yleisin tapa perustuu vapaaseen markkinatalouteen, jolloin käytöstä poistetun rengasmateriaalin hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan. Rengasmateriaalin hinta voi olla positiivinen tai negatiivinen. Jotta käytöstä poistetut renkaat saadaan palautumaan kierrätysjärjestelmään, niin niillä tulee olla positiivinen arvo, koska muutoin ne voivat päätyä jätteeksi. Suurista maista Englanti ja Saksa ovat valinneet tämän järjestelmän.

Kolmas ja vähiten käytetty tapa perustuu uusista renkaista perittävään veroon, jolla yhteiskunta rahoittaa ja hoitaa rengaskierrätyksen. Tämä menetelmä on käytössä mm. Tanskassa.



Kuva 10. Käytöstä poistettujen renkaiden kierrätysjärjestelmät Euroopassa 2013. (ETRMA 2013.)

Tuottajien järjestämänä hoidetun keräyksen piirissä on 65 % Euroopan käytöstä poistettujen renkaiden volyymistä, vapaan markkinan piirissä on 33 % ja veroperusteisessa järjestelmässä on 2 %. Tshekeissä ja Slovakiassa oli vuonna 2012 meneillään keskustelut lakimuutoksista renkaiden kierrätyksen osalta. (ETRMA 2013.)

3.4.5 Renkaiden kierrätys Suomessa

Autorengasliitto ry, Bridgestone Finland Oy, Continental Rengas Oy, Goodyear Dunlop Tires Finland Oy, Nokian Renkaat Oyj ja Suomen Michelin Oy perustivat Suomen Rengaskierrätys Oy:n vuonna 1995 hoitamaan renkaiden kierrätysvelvoitetta. Suomen Rengaskierrätys Oy hyväksyttiin Pirkanmaan ympäristökeskuksen toimesta Suomen ensimmäiseksi tuottajayhteisöksi 14.10.2004. (Autorengasliitto 2015.)

Valtioneuvoston päätös (1246/1995) käytöstä poistettujen renkaiden hyödyntämisestä ja käsittelystä tuli voimaan 1.6.1996. Siinä määriteltiin suomalainen rengaskierrätysmalli. Valtioneuvoston asetus (583/2004) käytöstä poistettujen renkaiden hyödyntämisestä ja käsittelystä annetun asetuksen muutoksesta tuli voimaan 1.9.2004. Tällä hetkellä renkaiden kierrätystä ohjaa 1.5.2012 voimaan tullut jätelaki (646/2011) sekä sen perusteella 27.6.2013 annettu asetus (179/2012). Tärkein muutos uudessa laissa ja sitä täydentävässä asetuksessa on asetuksen 2 pykälässä. Siinä todetaan, että renkaan tuottajan on järjestettävä käytöstä poistettujen renkaiden erilliskeräys ja hyödyntäminen siten, että vähintään 95 painoprosenttia tämän markkinoille saattamien renkaiden määrää vastavasta määrästä valmistellaan uudelleenkäyttöön, kierrätetään tai muutoin hyödynnetään. Tätä pykälää sovelletaan ensimmäisen kerran vuonna 2015 järjestettävään käytöstä poistettujen renkaiden erilliskeräykseen, uudelleenkäytön valmisteluun ja hyödyntämiseen. (Valtioneuvosto 2015.)

Renkaiden kierrätyksen vaiheet Suomessa näkyvät kuvassa 12. Renkaan myyvä liike perii uuden renkaan ostajalta kierrätysmaksun ja tilittää sen renkaantuottajalle, joka tilittää sen Suomen Rengaskierrätys Oy:lle. Näin saaduilla varoilla Suomen Rengaskierrätys Oy on hoitanut käytöstä poistettujen renkaiden kierrätyksen ja niiden uusiokäytön Suomessa yhdessä kierrätysoperaattorin kanssa, joka on tällä hetkellä Kuusakoski Oy.



Kuva 11. Rengaskierrätyksen vaiheet. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015.)

Suomen Rengaskierrätys on tilastoinut koko toiminta-aikansa kierrättämiensä renkaiden määrät ja niiden uusiokäytön (taulukko 3).

Taulukko 3. Suomessa kierrätetyt käytöstä poistetut renkaat ja niiden uusiokäyttömuodot vuosina 1996 – 2014. (Suomen Rengaskierrätys 2015.)

| | Renkaiden vastaanotto | Pinnoitukseen | Materiaalihyötykäyttö | Muu hyötykäyttö | Energia | Vienti | Varasto |
|------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------|----------|--------|-----------|
| 2014 | 49 805,00 | 923 | 33 943,00 | 4 013,00 | 9 141,00 | 272 | 18 295,00 |
| 2013 | 50 112,00 | 719 | 33 661,00 | 8 214,00 | 7 708,00 | 378 | 17 266,00 |
| 2012 | 48 343,00 | 744 | 34 512,00 | 5 129,00 | 5 497,00 | 892 | 14 029,00 |
| 2011 | 49 138,00 | 325 | 45 719,00 | 3 719,00 | 1 756,00 | 524 | 12 973,00 |
| 2010 | 41 434,70 | 262,7 | 40 299,40 | 0 | 0 | 0 | 13 018,00 |
| 2009 | 40 522,90 | 339,3 | 40 628,60 | 0 | 0 | 29 | 11 226,00 |
| 2008 | 48 394,00 | 471,1 | 42 880,50 | 0 | 0 | 0 | 8 917,00 |
| 2007 | 47 258,70 | 295,4 | 35 500,20 | 0 | 0 | 0 | 7 038,00 |
| 2006 | 44 698,10 | 1 929,60 | 30 348,00 | 0 | 0 | 0 | 25 340,50 |
| 2005 | 41 773,70 | 1 632,50 | 42 746,00 | 0 | 0 | 0 | 13 786,40 |
| 2004 | 37 240,10 | 1 144,30 | 35 261,90 | 0 | 0 | 0 | 16 312,20 |
| 2003 | 36 156,10 | 1 328,90 | 29 243,40 | 0 | 5,8 | 0 | 16 448,40 |
| 2002 | 31 986,00 | 1 039,10 | 36 674,00 | 0 | 0 | 0 | 10 646,10 |
| 2001 | 30 300,80 | 953,4 | 40 268,30 | 0 | 0 | 0 | 15 957,40 |
| 2000 | 30 474,00 | 1 241,20 | 24 562,70 | 0 | 0 | 0 | 24 697,40 |
| 1999 | 28 064,40 | 1 672,70 | 23 052,30 | 0 | 248,1 | 0 | 22 646,60 |
| 1998 | 27 457,30 | 1 694,30 | 16 135,10 | 0 | 298,5 | 0 | 16 708,30 |
| 1997 | 26 140,00 | 2 223,00 | 13 404,00 | 0 | 4 428,00 | 0 | 0 |
| 1996 | 15 372,00 | 1 352,00 | 357 | 0 | 3 276,00 | 0 | 0 |

Taulukosta 3 voidaan todeta käytöstä poistettujen renkaiden eri hyötykäyttömuodot, jotka olivat suuruusjärjestyksessä vuonna 2014

- materiaalihyötykäyttö 68 %
- energiahyötykäyttö 18 %
- muu hyötykäyttö 8 %
- pinnoitus 1,9 %
- vienti 0,5 %
- varaston muutos 3,6 %

Renkaiden myyjiä on Suomessa satoja, sillä varsinaisten rengasliikkeiden lisäksi renkaita myyvät mm. kaikki autoliikkeet, suurin osa korjaamoista ja varaosaliikkeistä sekä lukuisa joukko muita liikkeitä. Käytännössä kaikki uusia renkaita myyvät liikkeet ovat myös käytettyjen renkaiden vastaanottopisteitä. Renkaiden vastaanottopisteitä oli Suomen Rengaskierrätyksen listalla 31.1.2015 n. 2 700 kappaletta, mutta niiden määrä muuttuu koko ajan. (Tuominen 2015.)

4 RENKAIDEN HAJOTTAMISMENETELMÄT

4.1 Leikkausmenetelmät

Teollisen mittakaavan rengasleikkurit ovat käytännössä kahdella roottorilla varustettuja leikkureita. Niissä leikattava kumimateriaali syötetään materiaalinkäsittelykoneella kahden vastakkain pyörivän leikkaavilla terillä varustetun roottorin väliin. Roottoreissa voi olla leikkaavien terien lisäksi lisäteriä, joiden tarkoituksena on pakottaa kumimateriaali leikkaavien terien väliin. (Tana 2015.)

Kuvassa 12 on esitetty rengasleikkurin roottoreiden rakenne ja toimintaperiaate. Roottoreissa olevat ”hampaat” pakottavat leikattavan rengasmateriaalin kulkemaan leikkaavien terien väliin.



Kuva 12. Kaksi- roottorisen rengasleikkurin syöttökita. (EcoGreen 2015.)

Itse leikkaustapahtumassa kumimateriaali menee limittäin olevien terien välistä leikkaantuen samanaikaisesti molemmilta puoliltaan. Kitkan vähentämiseksi ja leikkaustehon lisäämiseksi renkaita kastellaan leikkaustapahtuman aikana. Talvella veden syötön järjestäminen voi olla hankalaa Suomen olosuhteissa, mutta rengaskasoissa oleva lumi korvaa veden syötön puutteen osittain. Leikattu kumimateriaali putoaa leikkauksen jälkeen leikkauskammion alla olevalle kuljettimelle, joka siirtää leikatun kumimateriaalin varastokasaan. Siirtokuljettimen päälle voidaan asentaa magneetti, jonka avulla leikattua kumimateriaalista voidaan poistaa siinä olevat irralliset metallikappaleet. Magneetti täytyy säätää tarkasti, ettei se poista myös paljon metallia sisältävää kumimateriaalia.

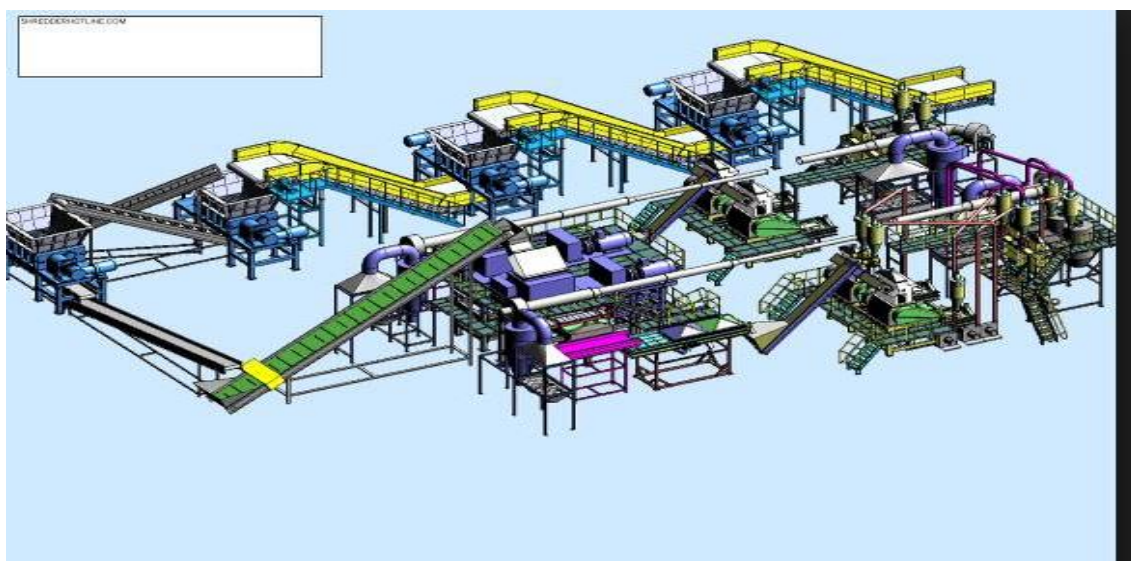
Yleisin käytettävä rengasleikkurityyppi on mobiilileikkuri, jonka suurin etu on sen siirrettävyys työmaalta toiselle. Kiinteitä rengasleikkureita on yleensä vain tuotantolaitosten yhteydessä. Parhaimmillaan saadaan kaikki leikattava rengasmateriaali työmaan läheisyydestä, jolloin rengasleikkurin syötteen kuljetuskustannukset saadaan minimoitua ja lopputuote saadaan suoraan käyttökohteeseen. Mobiilileikkuria voidaan myös siirtää leikattavan rengaskasan sivua pitkin, jolloin suuretkin kasat voidaan käsitellä pelkästään syöttökoneen avulla. Tällöin yleensä selvittää myös ilman erillistä rengasrouheen siirtoa. Kuvassa 13 on Tanan valmistama tela-alustainen mobiilileikkuri, joka soveltuu renkaiden leikkaamiseen.



Kuva 13. Tela-alustainen mobiilileikkuri. (Tana 2015.)

Tällä hetkellä Suomessa suurin osa rengasmateriaalista leikataan 300 mm palakokoon, joka käy hyvin nykyisiin käyttökohteisiin. Kaksiakselisilla mobiilileikkureilla voidaan päästä myös 80 mm palakokoon, mutta se vaatii erikoisterät ja tehollinen leikkauskapasiteetti työtuntia kohden jää tällöin pieneksi. (Tuominen 2015.)

Useiden uusien rengasmateriaalien käyttömuotojen edellytyksenä on noin 20 mm palakoko ja se voidaan saavuttaa vain käyttämällä kiinteitä laitoksia. Niissä on useita erillisiä leikkureita kytkettynä tuotantolinjaksi. Palakoon pienentyessä saadaan rengaskumimateriaalissa olevasta metallista erotettua murskausvaiheessa enemmän kuin isommalla palakoolla. Kuvassa 14 on kolme rengasleikkuria kytketty tuotantoketjuksi ja vasta viimeisimmän leikkurin jälkeen on rengasmurskeen seulonta- ja lajittelulaitos.



Kuva 14. Kiinteä 3 – leikkurinen rengasleikkausasema. (Shredderhotline 2015.)

4.2 Rengaskumijätteen hajottaminen pyrolyysillä

Pyrolyysi on keksintönä jo vanha, sillä perinteinen tervanpoltto voidaan laskea eräänlaiseksi pyrolyysiksi. Terva oli Suomen tärkein vientituote 1700 – luvulla, mutta sen poltto alkoi vähetä 1800 – luvun loppupuolella loppuen kokonaan 1930 – luvulla. Samaan aikaan tervanpolton loppumisen kanssa alkoi Suomessa myös rengaskumijätteen hyödyntäminen regeneroimalla. (Palo-Oja ja Willberg 1998.)

4.2.1 Pyrolyysitekniikan vaiheet

Ennen varsinaista pyrolyysia renkaat esikäsitellään, joka käytännössä tarkoittaa niiden leikkaamista prosessiin sopivan kokoisiksi paloiksi. Oikea palakoko parantaa prosessin tehokkuutta, mutta tärkeintä oikea palakoko on syötettäessä rengaskumijätettä prosessiin. Toiminnan jatkuvuuden parantamiseksi ja häiriöalttiuden minimoimiseksi rengasrouhetta täytyy varastoida silloissa ennen syöttöä pyrolyysikattilaan. Epätasainen palakoko vaikeuttaa syöttöautomaatiikan toimintaa ja pahimmillaan syöttölaitteisto saattaa mennä tukkoon, jolloin prosessi voi pahimmillaan keskeytyä. (Nurmi ym. 2014.)

Pyrolyysiprosessissa rengaskumijätettä kuumennetaan suljetussa ja hapettomassa tilassa. Tyypillisesti pyrolyysiprosessin lämpötila on 480 – 520 °C ja paine vähemmän kuin 10 kPa. Tällöin orgaaninen rengaskumijäte ei pala, vaan kaasuuntuu synteesikaasuksi. Synteesikaasusta valmistetaan pyrolyysiöljyä, jota voidaan käyttää raaka-aineena valmistettaessa polttoöljyä. (Roy 1998.)

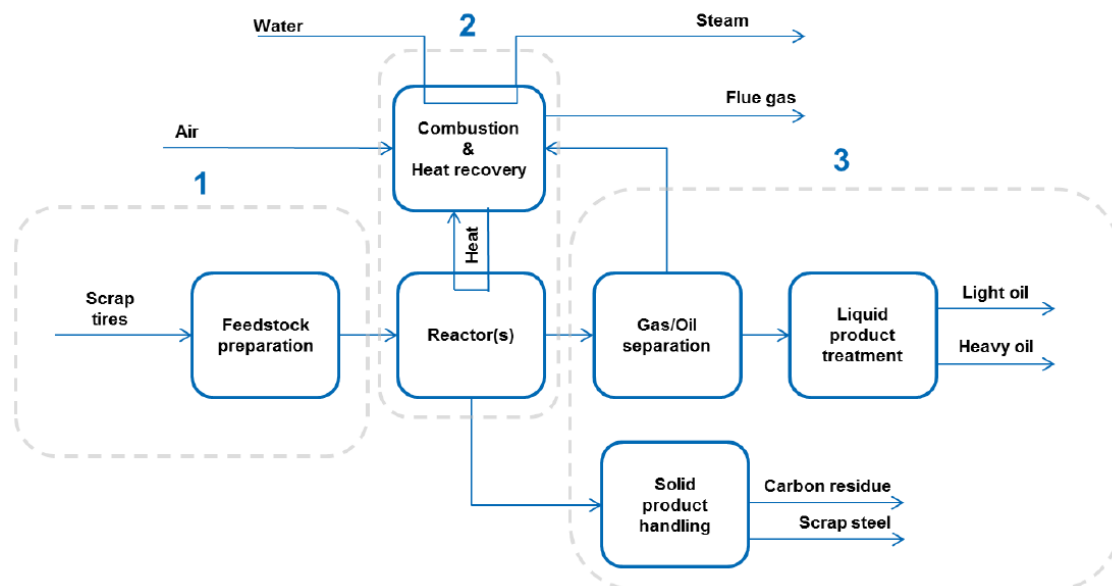
Pyrolyysiprosessi voidaan jakaa kolmeen pääosaan, joista ensimmäinen osa on kierrätettyjen renkaiden valmistaminen prosessiin sopivaksi. Renkaat leikataan prosessin vaatimaan kokoon ja yleisin palakoko on noin 5 x 5 cm. Samalla materiaalista poistetaan epäpuhtaudet, kuten lika, lumi ja jää. Käytettäessä kokonaisia renkaita ne voidaan pestä vedellä. Leikkauksen yhteydessä osa teräksestä saadaan poistettua ja mitä pienempään palakokoon mennään, sitä suurempi osa metallista saadaan talteen jo tässä vaiheessa. Renkaan materiaalit ja sen rakenne on suunniteltu kestämaan mahdollisimman hyvin erilaisia rasituksia ja kulumista, joten renkaan leikkaaminen kuluttaa merkittävästi energiaa. Palakoon pienentyessä leikkaamiseen tarvittavan energian määrä kasvaa. (Nurmi ym. 2014.)

Pyrolyysin toisessa osassa on lämmitysjärjestelmä ja varsinainen reaktoriosa. Pyrolyysiprosessi voi olla joko jatkuvatoiminen tai panos periaatteella toimiva. Lämpö pyrolyysiprosessiin syötetään joko epäsuorasti reaktorin seinämärakenteisiin tai suoraan kuumana kaasuna itse prosessiin. Muitakin tapoja, kuten esimerkiksi mikroaaltoja on kehitetty lämmön tuottamiseen, mutta niitä ei ole saatu toimimaan halutulla tavalla. Prosessissa syntyvä ylimääräinen lämpö voidaan käyttää esimerkiksi höyryn tuotantoon. Lopputuotteiden laadun ja määrän kannalta prosessityypillä ei ole merkitystä. (Nurmi ym. 2014.)

Kaaviokuva pyrolyysiprosessista on kuvassa 15.

Introduction to pyrolysis processes

Typical configuration of a thermal pyrolysis plant (batch or continuous)
Can be divided into 3 different sections



Kuva 15. Pyrolyysiprosessin prosessikaavio. (Nurmi ym. 2014.)

Termisen pyrolyysilaitoksen pääosat ovat reaktorisyötteen valmistus ja syöttöyksikkö, varsinainen reaktori, prosessilämmön tuottoyksikkö, kaasun/nesteen erotteluyksikkö, nesteiden (kevyt ja raskas pyrolyysiöljy) valmistusyksikkö ja sivutuotteiden (teräs ja hiilimustan) käsittely-yksikkö.

Panostyyppiset reaktorit vaativat ulkoista energiaa käynnistyksen aikana, joten niitä on yleensä useampia, jolloin koko laitoksen energiatehokkuutta pystytään parantamaan käyttämällä niitä eriaikaisesti. Myös lopputuotteiden käsittely on helpompaa usean reaktorin laitoksessa, koska silloin pystytään tasaamaan myös lopputuotteiden tuotannon syklisyyttä. Joka tapauksessa panostyyppisten reaktoreiden käyttäminen on jatkuvatoimisia reaktoreita vaikeampaa, joten panostyyppiset reaktorit ovat työvoimavaltaisempia kuin jatkuvatoimiset. (Nurmi ym. 2014.)

Panostyyppisten reaktoreiden suurin etu on siinä, että niissä voidaan prosessoida myös kokonaisia renkaita, joka tuo huomattavia säästöjä käsittelykustannuksiin. Panostus voi tapahtua esimerkiksi pyöräkuormaajalla tai vastaavalla työkoneella, joten syötteen ei tarvitse olla tasakokoista. Tärkeintä on saada reaktoriin optimaalinen määrä rengasmateriaalia ennen pyrolyysiprosessin alkamista. (Nurmi ym. 2014.)

Jatkuvatoimisen prosessin suurin etu on lopputuotteiden tasainen tuotanto, joka helpottaa niiden jatkokäsittelyjä ja yleensä pystytään toimimaan ilman niiden välivarastointia. Jatkuvatoimisuus aiheuttaa suuria vaatimuksia prosessiin syötettävälle rengasrouheelle, joka on hyvin herkkää tukkeutumaan eri siirtovaiheissa. (Nurmi ym. 2014.)

Pyrolyysiprosessissa syntyviä kaasuja voidaan hyödyntää lämmöntuotannossa polttamalla ne lämmöksi. Pyrolyysikaasujen hyödynnettävyyttä heikentää niiden korkeat rikki- ja ammoniakkipitoisuudet. Polttovaiheessa korkeaa rikkipitoisuutta ja sen vaikutuksia voidaan alentaa käyttämällä esimerkiksi maakaasua tukipolttoaineena. Rikkipitoisuuden vuoksi pyrolyysikaasujen varastointi on vaikeaa ja niiden polttaminen vaatii rikinpoistojärjestelmän savukaasujen puhdistukseen. (Nurmi ym. 2014.)

Pyrolyysiprosessin kolmas kokonaisuus on niiden pyrolyysituotteiden käsittely, joita ei käytetä itse prosessissa.

4.2.2 Pyrolyysillä saatavat jakeet

Pyrolyysillä saatavat tuotteet riippuvat eniten käytetyn syötteen laadusta, joka käytöstä poistettujen renkaiden osalta tarkoittaa käytännössä sitä, onko syöte henkilöauton renkaista vai kuorma-auton renkaista tehtyä. Myös pyrolyysiprosessin kesto ja siinä vallitseva paine vaikuttavat saatavien lopputuotteiden osuuksiin.

Pyrolyysituotteet eivät yleensä täytä vastaavien alkuperäisten tuotteiden spesifikaatiota ilman käsittelyä. Esimerkiksi pyrolyysiöljyn leimahduspiste on niin alhainen, ettei se täytä kevyen tai raskaan polttoöljyn vaatimuksia. Hiilimusta joudutaan pellettoimaan pölyämisen vuoksi kuljetusta varten, mikäli sitä ei hyödynnetä laitoksen välittömässä läheisyydessä. Pyrolyysikaasun hyödyntäminen muutoin kuin polttamalle se prosessin osana on haasteellista, koska sillä on taipumus polymeroitua varastoitaessa. (Nurmi ym. 2014.)

Tyypillisesti pyrolyysin lopputuotteiden jakauma painoprosenteina on seuraava.

- teräksen osuus on 10 %
- hiilimustan osuus on 36 – 39 %
- pyrolyysiöljyn osuus on 43 – 47 %
- pyrolyysikaasun osuus on 5 – 6 ja
- veden osuus on 1 – 3 %.

Teräksen osuus on sama sekä henkilöauton että kuorma-auton renkaissa. Hiilimustaa saadaan kuorma-auton renkaista 39 %, kun henkilöauton renkaista sitä saadaan noin 33 – 37 %. Pyrolyysiöljyä saadaan kuorma-auton renkaista 43 % ja henkilöauton renkaista 45 – 56 %. Pyrolyysikaasua saadaan kuorma-auton renkaista 5 % ja henkilöauton renkaista 5 – 10 %. Vettä kuorma-auton renkaista syntyy 3 % ja henkilöauton renkaista 1 – 3 %. Tiivistäen voidaan todeta, että käytettäessä pyrolyysin syötteenä kuorma-auton renkaita saadaan enemmän hiilimustaa kuin henkilöautojen renkaista. Pyrolyysikaasua ja – öljyä kuorma-auton renkaista saadaan henkilöauton renkaita vähemmän. (Nurmi ym. 2014.)

Yleensä suurin osa synteetisikaasusta tiivistetään pyrolyysiöljyksi, jonka rikkipitoisuus on alle 1 %. Pyrolyysiöljyn energiasisältö on 44 MJ/kg, joka on 1,3 – kertainen renkaiden energiasisältöön, joka on 33 MJ/kg. Sekin on 10 % suurempi kuin puuhiilen energiasisältö, joka on 30 MJ/kg. Pyrolyysiöljyn alkuainekoostumus on happea lukuun ottamatta lähes sama riippumatta siitä, että onko syötteenä käytetty henkilöauton vai kuorma-auton renkaita. Kuorma-autojen renkaista saatavan pyrolyysiöljyn happipitoisuus on noin 1/10 – osa henkilöautonrenkaista saatavasta pyrolyysiöljystä. (Nurmi ym. 2014.)

Pyrolyysiöljyä voidaan polttaa suoraan sellaisenaan suurissa lämpö- ja CHP -laitoksissa sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Pyrolyysiöljystä voidaan jalostamalla tuottaa myös dieselöljyä ja muita petrokemian tuotteita. Pyrolyysiöljyn puristuksenkestävyys on noin puolet öljystä tuotettuun dieselöljyyn verrattuna, eli sen leimahduspiste on alhainen. Tämän johdosta pyrolyysiöljy täytyy käsitellä kemiallisesti. Myös pyrolyysiöljyn korkeaa rikkipitoisuutta täytyy alentaa ennen sen polttamista. (Roy 1998.)

Kevyet hiilivetykaasut puhdistetaan metaaniksi ja etaaniksi. Näiden kaasujen polttamisella tuotetaan kaikki prosessin vaatima lämpö ja ylijäämälämpö voidaan johtaa esimerkiksi kaukolämpöverkkoon. Hiili (tai hiilimusta tai kimrööki) käytetään pääasiassa kumituotteiden raaka-aineeksi valmistettaessa renkaita, kuljetinhihnoja tai muita kumituotteita. Sitä voidaan käyttää myös pigmenttinä, komponenttina aktiivihiilisuodattimissa sekä kopiokoneiden ja tulostuslaitteiden väriaineena. (Nurmi ym. 2014.)

Teräsvyöt ja nastat saadaan pyrolyysiprosessin sivutuotteina ja ne ovat sellaisenaan sopivia terästeollisuuden raaka-aineeksi valokaariuuneihin. Masuuniprosessissa niitä voidaan käyttää kuten muutakin jäähdytysromua.

Prosessista syntyvä hukkalämpö voidaan johtaa kaukolämpöverkkoon yhdessä kaasujen polton yhteydessä syntyvän ylijäämälämmön kanssa. Loppusijoitettavaa jätettä pyrolyysiprosessissa syntyy noin 1 % ja jättevettä ei synny lainkaan. Ainoa prosessin tarvitsema vesi on suljetun kierron jäähdytysvesi. (Peatec Oy 2014.)

4.2.3 Kokemukset pyrolyysin hyödyntämisestä

Pyrolyysi eli kuivatislaus on kemiallinen reaktio, jossa orgaanisia kiinteitä aineita hajotetaan kumentamalla niitä anaerobisessa prosessissa. Nimitys perustuu aineen fraktiointiin sellaisenaan (kuiviltaan). Voimakkaasti pelkistävänä reaktiona pyrolyysi pilkkoo makromolekyylejä komponentteihinsa, rikkoo amideja ja estereitä, sekä erottaa pieniä molekyylejä. Lämpötila kumimateriaalin pyrolyysiprosessissa on yleensä 450 - 500 °C. (Nurmi ym. 2014.)

Käytöstä poistettujen renkaiden käsittelyä pyrolyysin avulla on viime vuosina aloitettu useassa eri maassa hyvinkin korkeaprofiilisilla hankkeilla. Yhteistä näille projekteille on ollut laajojen suunnitelmien lisäksi se, että monet näistä epäonnistuneet.

Yhtenä esimerkkinä epäonnistuneista suunnitelmista on Suomessa toiminut Peatec Oy, joka valittiin 8.2.2014 Euroopan Unionin järjestämän ”European Business Awards for the Environment” Suomen kansallisen osakilpailun voittajaksi. Yhtiö rekisteröitiin 13.6.2008 ja sen liikevaihto tilikaudella 2013 – 14 oli 76 000 € ja liiketoiminnan tulos 229 000 € negatiivinen. Vuonna 2014 yhtiö lopetti renkaiden pyrolysoinnin ja prosessin raaka-aineeksi hankitut renkaat odottavat yhä yhtiön Valkeakosken pisteessä uutta hyödyntäjää.

Liitteen 2 taulukossa on ETRMA:n kokoamaa tilastotietoa Euroopassa pyrolyysiin päätyneistä renkaista vuodelta 2013. Taulukon mukaan Virossa toimiva renkaiden tuottajavastuu organisaatio Eesti Rehviilit toimitti käytöstä poistettuja renkaita pyrolyysiin vuonna 2012 yhteensä 3 947 t, joka oli noin 55 % kerätyistä renkaista. Renkaat toimitettiin Hansa Biodiesel – nimiselle yritykselle, jonka renkaiden käsittelykapasiteetti on 30 tonnia vuorokaudessa. Tällä hetkellä Hansa Biodieselin toiminta on pysähdyksissä talousvaikeuksien johdosta. (Nurmi ym. 2014.)

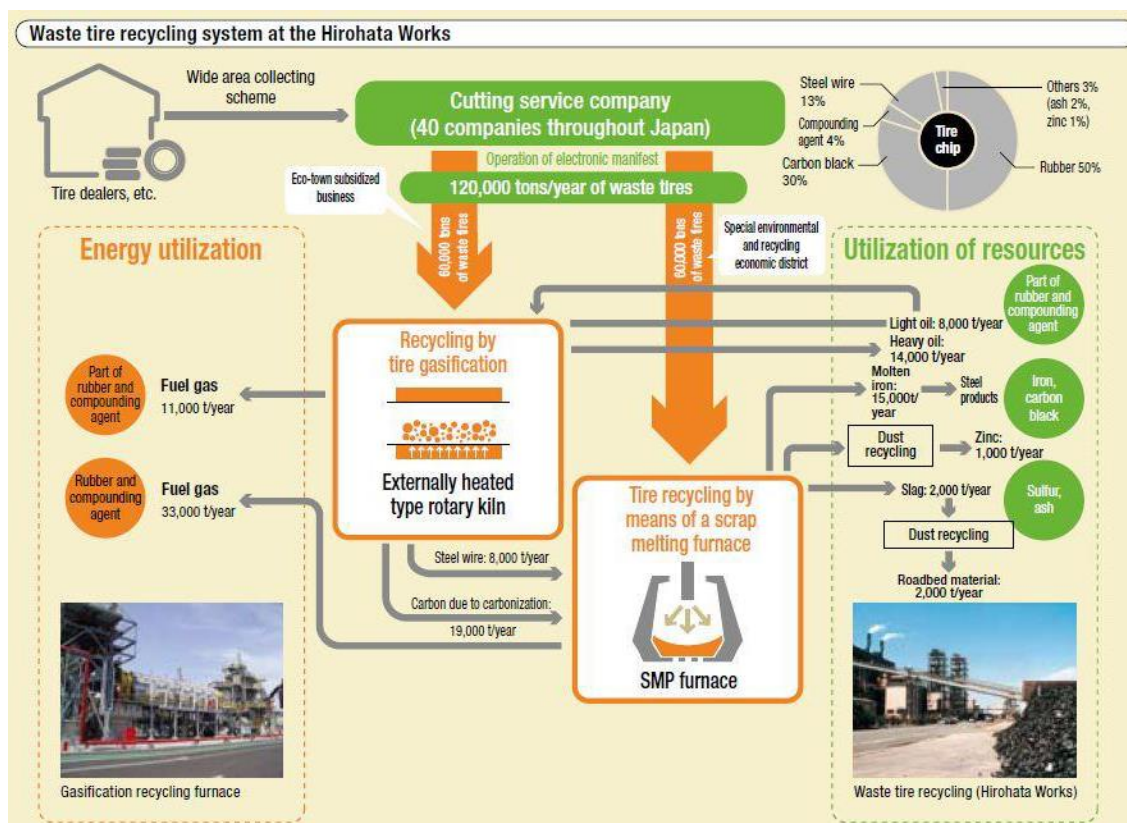
Saman taulukon mukaan Turkissa toimiva renkaiden tuottajavastuuorganisaatio Lasder (Lastik Sanayicileri Dernegi) toimitti vuonna 2013 pyrolyysiin 9 000 tonnia renkaita, joka on noin 7 % kierrätetyistä renkaista. Ainoa tiedossa oleva pyrolyysilaitos Turkissa on Yazganin Istanbulin laitos. Sen ilmoitettu kapasiteetti on 10 tonnia vuorokaudessa, joten suurin osa pyrolyysiin käytettävistä renkaista on ilmeisesti täytynyt viedä ulos maasta. Italiassa toimiva renkaiden tuottajavastuuorganisaatio Ecopneus toimitti vuonna 2013 pyrolyysiin 1 707 tonnia renkaita, mutta niiden vastaanottaja ei ole tiedossa. (Nurmi ym. 2014.)

Kaikkiaan liitteen 2 taulukon mukaan Euroopassa toimitettiin vuonna 2013 pyrolyysiin vain 14 654 tonnia käytöstä poistettuja renkaita, joka on vain 0,77 % samaan aikaan kerätyistä renkaista. Määrä on marginaalinen koko kierrätetystä rengasmassasta, jos sitä verrataan vaikka sementtiuneissa poltettuihin renkaisiin, joita oli määrällisesti samana vuonna 880 262 tonnia. Tällöin pyrolyysin osuus käytöstä poistettujen renkaiden kierrätysmuotona on todella vähäinen.

Ruotsissa käynnistyi 2013 pyrolyysilaitos, jonka omistaa Tyre Recycling in Sweden Ab. Laitoksen ilmoitettu käsittelykapasiteetti on 12 000 tonnia renkaita vuodessa. Tyre Recycling in Sweden Ab on Scandinavian Enviro Systems Ab (SES) – nimisen yhtiön tytäryhtiö. Pyrolyysilaitoksen nettisivut ovat vasta tekeillä, joten siitä ei ole vielä tarkempia tietoja saatavilla. SES – yhtiön kotisivuilla mainitaan, että laitoksen toiminta perustuu patentoituun CFC – tekniikkaan, jossa happi korvataan typellä ennen massan kuumennusta reaktorissa. (SES 2015.)

Oulun Energia suunnittelee pyrolyysilaitosta, jonka kapasiteettina olisi hyödyntää käytöstä poistettuja renkaita 8 000 tonnia vuodessa. Myöhemmin on tarkoitus rakentaa samalle alueelle toinenkin linjasto, jolloin laitoksen kokonaiskapasiteetiksi tulisi 16 000 tonnia vuodessa. Tammikuussa 2015 laitosta kuitenkin vasta suunniteltiin, eikä esimerkiksi ympäristölupahakemusta ole vielä jätetty.

Ainoa maailmalla tiedossa oleva kapasiteetiltaan iso pyrolyysilaitos on Japanissa, jossa Nippon Steel käyttää käytöstä poistettuja renkaita hyödyksi teräksen tuotannossa. Laitos käyttää renkaita vuodessa 120 000 tonnia ja se on ollut toiminnassa 2000 – luvun alusta lähtien. Prosessiin tulevat renkaat on leikattu erillisten palveluyhtiöiden toimesta ja niitä on Japanissa 40 kappaletta. Laitoksen materiaalivirtakaavio on kuvassa 24. Noin puolet renkaista syötetään valokaariuuniin polttoaineeksi yhdessä teräsromun kanssa ja loput käytetään pyrolyysissä, jolla tuotetaan energiaa muihin prosesseihin. (Nurmi ym. 2014.)



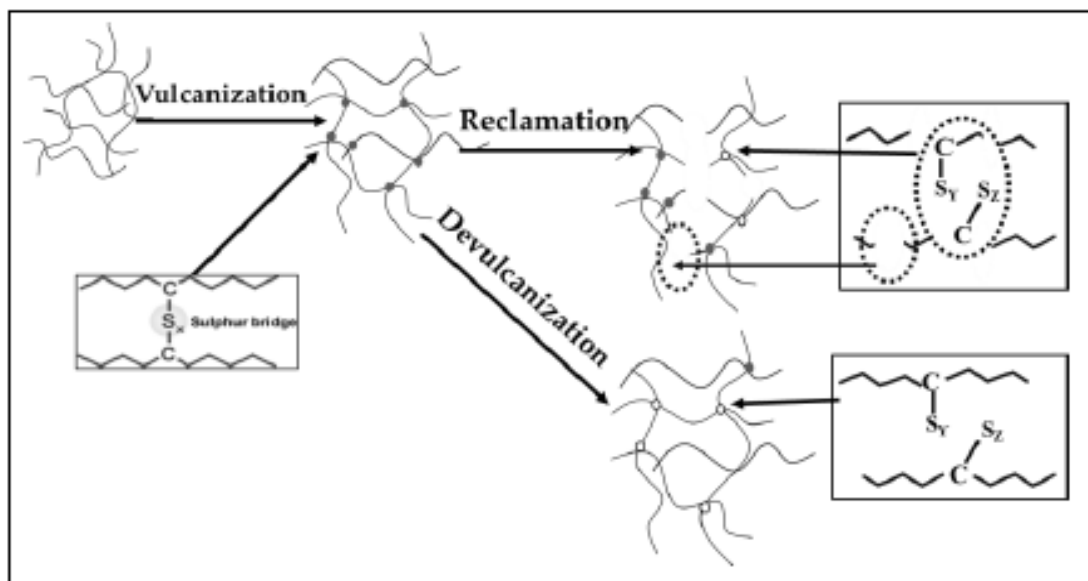
Kuva 24. Materiaalivirtakaavio Nippon Steelin renkaiden käytöstä. (Nurmi ym. 2014.) Alaspäin osoittavat keltaiset nuolet kuvaavat rengasrouheen syöttöä kuvan keskellä oleviin uuniprosesseihin. Prosessista syntyvät energiajakeet ovat kaaviossa uuniprosessien vasemmalla puolella ja materiaali-jakeet oikealla puolella.

4.3 Devulkanointi

4.3.1 Prosessin periaate

Vulkanoinnissa raakakumin molekyylit silloitetaan lämmön ja rikin avulla toisiinsa kemiallisin sidoksien. Vulkanoinnissa raakakumi muuttuu kovemaksi, kestävämmäksi ja paremmin kemikaaleja kestäväksi. Devulkanoinnilla tarkoitetaan vulkanoinnissa syntyneiden rikkisiltojen hajottamista, jotta kumi pystytään palauttamaan takaisin muokattavaan muotoon.

Devulkanointiprosessissa pilkottavat hiili – rikkiketjut ovat joko monosulfidisia (CSC), disulfidisia (CSSC) tai polysulfidisia (C-Sx-C). Devulkanoinnissa tavoitteena on rikkisiltojen hajottaminen siten, että kumissa olevat polymeeriketjut säilyvät ehjinä. Asia on esitetty kuvassa 16 olevassa kaaviossa. Jos tässä onnistutaan, niin devulkanoitu kumi-materiaali vastaa ominaisuuksiltaan alkuperäisen kumimateriaalin rakennetta ja laatua. (Saiwari 2013.)



Kuva 16. Rikkisiltojen hajottaminen ilman polymeeriketjujen katkeamista. (Saiwari 2013.)

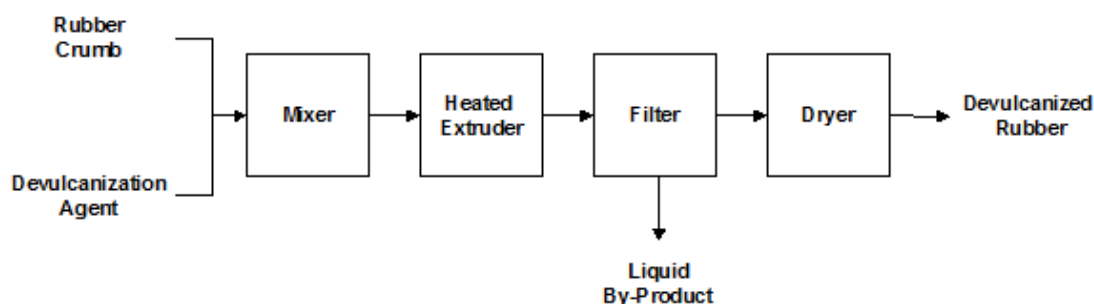
4.3.2 Kemiallinen menetelmä

Kemiallisten menetelmien edellytyksenä on mahdollisimman suuri reagoiva pinta-ala massaan nähden, joten niitä käytettäessä rengaskumijäte joudutaan murskaamisen jälkeen jauhamaan erittäin pieneen palakokoon, joka lisää huomattavasti kustannuksia.

Eri kemiallisia menetelmiä ovat mm. Hunt & Kovalak – menetelmä (1999) sekä Benko & Beers - menetelmä (2002). Molemmat menetelmät perustuvat liuottimien käyttöön kumin rakenteen rikkomiseen korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Prosessit ovat erittäin hitaita ja niitä on käytetty vain laboratorio-olosuhteissa. Laadultaan saatu lopputuote oli säilyttänyt hyvin alkuperäisen neitseellisen kumiraaka-aineen ominaisuudet.

Kemiallista menetelmää on yritetty parantaa lisäämällä prosessiin öljyä tai epäorgaanisia liuottimia, kuten tolueenia, teollisuusbenssiiniä, bentseeniä, sykloheksaania jne. Prosessia ei ole saatu kuitenkaan kannattavaksi ja lisäksi liuotinten käyttö vaatii hyvin huolellista työskentelyä ja mahdollisen vahingon sattuessa ne voivat helposti muuttua vaarallisiksi. (CalRecovery Inc 2004.)

Seuraavassa kaaviossa, kuva 17 on esitetty kemiallisen devulkanoinnin vaiheet



Kuva 17. Kemiallisen devulkanoinnin vaiheet. (CalRecovery Inc 2004.)

Kemiallisen devulkanoinnin vaiheet ovat:

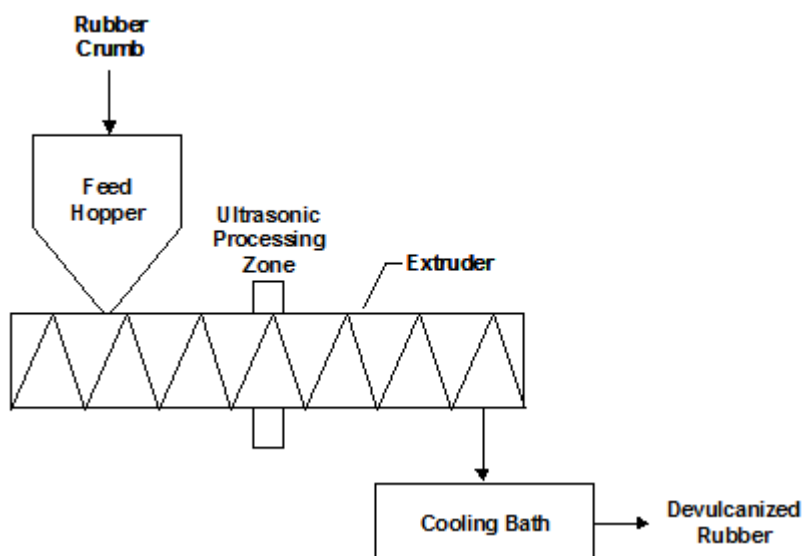
- murskatun kumin ja lisäaineiden syöttö sekoittimeen
- seoksen syöttö lämmitettyyn extruuderiin
- reagoineen massan suodattaminen, jolloin siitä poistetaan nestettä
- suodatetun kumimassan kuivaus, jonka jälkeen lopputuote on valmis

4.3.3 Ultraääni menetelmä

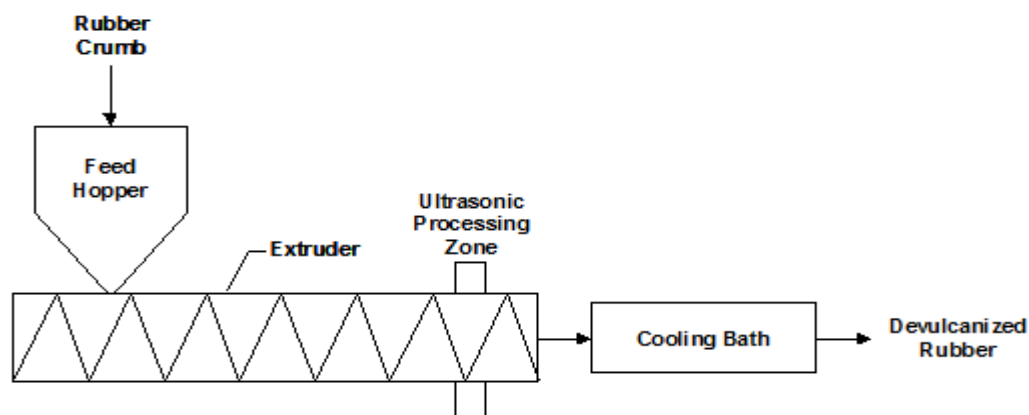
Ensimmäisinä ultraääni menetelmän käyttöä rengaskumijätteen devulkanoinnissa selvittivät Okuda ja Hatano 1987. Siinä rengaskumijätettä devulkanisoidaan käyttäen 50 KHz taajuudella olevia ääniaaltoja 20 minuutin ajan. Ultraäänen avulla saadaan kumimateriaali hajoamaan, mutta teräs- ja kudosvahvikkeet säilyvät alkuperäisessä muodossa. Nostamalla prosessin painetta ja lämpötilaa voidaan prosessin tehoa parantaa. Prosessi on erittäin nopea, tehokas ja se on vapaa liuottimista ja kemikaaleista. (CalRecovery Inc 2004.)

Ultraääniprosessista syntyvä devulkanoitu kumimateriaali on erittäin pehmeää, jonka johdosta se jatkokäsiteltävä samalla tavalla kuin neitseellinen raakakumi. Prosessia ei vielä pystytä täysin hallitsemaan, koska koetulosten perusteella prosessi ilmeisesti muuttaa kumimateriaalin kinetiikkaa hajottamalla kumissa olevien yhdisteiden rakennetta siten, että kumimateriaalin laatu heikkenee. Menetelmä ei ole vielä käytössä teollisessa mittakaavassa. (CalRecovery Inc 2004.)

Kuvassa 18 on esitetty Devulkanointi ultraäänen avulla niin, että extruder – osa on sijoitettu järjestelmän keskelle, kun kuvassa19 se on järjestelmän loppupäässä.



Kuva 18. Devulkanointi ultraäänen avulla extruderin ollessa keskellä järjestelmää. (CalRecovery Inc 2004.)



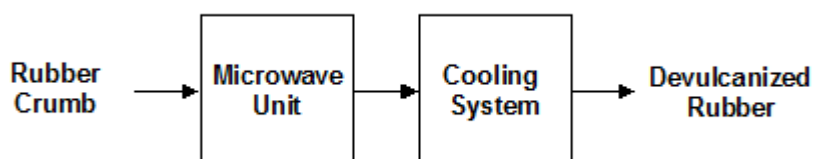
Kuva 19. Devulkanointi ultraäänen avulla extruderin ollessa järjestelmän loppupäässä. (CalRecovery Inc 2004.)

Ultraääni menetelmässä kuvien 18 ja 19 vaihtoehdot koostuvat samoista yksiköistä, ainoa ero on yksiköiden järjestyksessä. Ultraäänellä tapahtuvan devulkanoinnin vaiheet ovat:

- murskatun kumimateriaalin syöttö laitteistoon
- ultraäänikäsittelyn suorittaminen joko ennen extruderia tai sen jälkeen
- prosessoidun materiaalin jäähdytys, jonka jälkeen lopputuote on valmis

4.3.4 Mikroaalto menetelmä

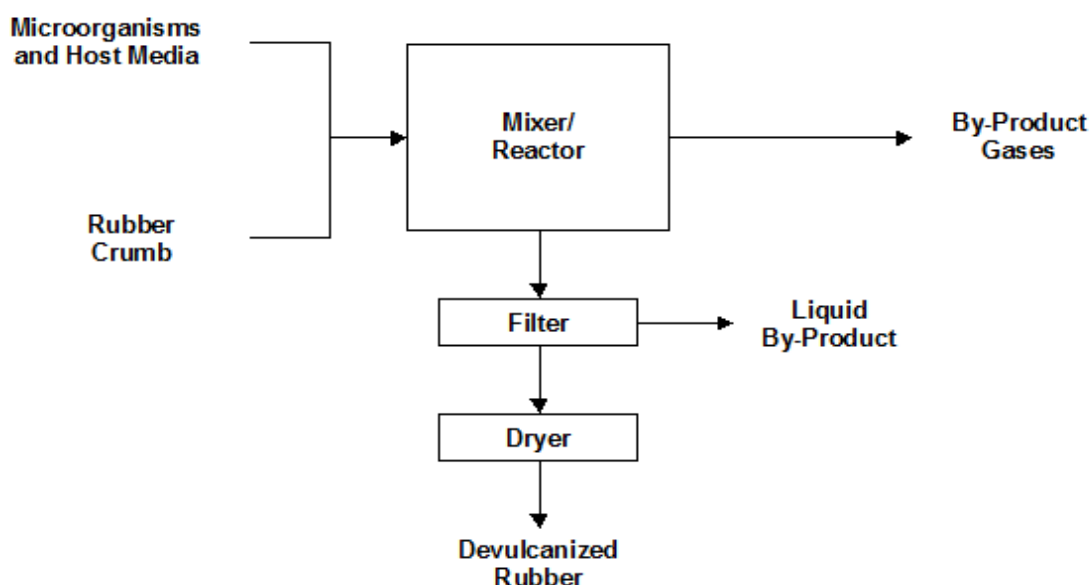
Mikroaaltomenetelmässä rengaskumijätettä lämmitetään nopeasti ja tasaisesti kontrolloitujen mikroaaltojen tuottaman energian avulla. Onnistuakseen prosessi vaatii poikkeuksellisia tai huomattavia fyysisiä ominaisuuksia prosessoitavalta rengaskumijätteeltä. Mikroaaltomenetelmässä (ks. kuva 20) käytettävän materiaalin täytyy olla sellaista, että se ottaa vastaan riittävän paljon energiaa riittävällä nopeudella, jotta prosessi saadaan tuottamaan tarpeeksi lämpöä devulkanisoitumisen tapahtumiseksi. Menetelmä vaatii kalliita laitteita ja se on tyypiltään eräprosessi. (CalRecovery Inc 2004.)



Kuva 20. Devulkanointi mikroaaltojen avulla. (CalRecovery Inc 2004.)

4.3.5 Biologinen menetelmä

Biologisessa menetelmässä vulkanisoitu kumimateriaali devulkanisoidaan mikro-organismien avulla. Mikro-organismien avulla hajotetaan vulkanoidussa kumissa olevat rikkisidokset. Prosessissa voidaan ottaa talteen devulkanisoitu kumi ja rikki. Yksi prosessi käyttää chemolithiotrope bakteerin nestemäistä liuosta depolymeroimaan jauhetun elastomeerin pintaa. Tällöin polymeeriketjut ovat uudelleensidottavissa vulkanoimalla. Samantyyppisen bakteerin on osoitettu devulkanisoivan murskattua kumijätettä, kun sitä pidetään hiilihapotetussa nestemäisessä mikro-organismi suspensiossa. Biologisen devulkanoinnin menetelmän vaiheet ovat kuvassa 21. Prosessina se on täysin samanlainen kuin kemiallinen devulkanointi, ainoastaan kemialliset lisäaineet on korvattu mikro-organismeilla. (CalRecovery Inc 2004.)



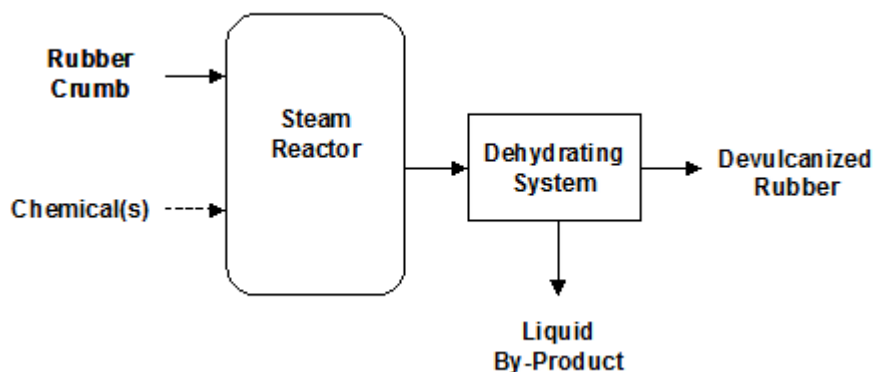
Kuva 21. Biologisen devulkanoinnin vaiheet. (CalRecovery Inc 2004.)

4.3.6 Devulkanointi höyryllä

Höyryn avulla tapahtuvassa devulkanoinnissa kumirouhe syötetään sekoittimella varustettuun höyryastiaan, jossa sitä sekoitetaan samanaikaisesti kun höyryä syötetään lisää. Menetelmästä on olemassa kaksi eri versiota, jotka ovat kuiva ja märkä. Märässä menetelmässä prosessiin lisätään höyryn lisäksi vettä, kun kuivassa käytetään pelkkää höyryä.

Tarvittaessa reaktioastiaan voidaan lisätä erilaisia kemikaaleja prosessin tehostamiseksi. Eräässä tutkimuksessa märkäprosessissa reaktioastiaan lisättiin diaryyli disulfidia hienoksi jauhetun kumirouheen lisäksi, jolloin käyttämällä 190°C asteista höyryä prosessi saatiin toimimaan siten, että noin 200 kg kumirouhepanoksen devulkanointi kesti 15 – 17 tuntia. (CalRecovery Inc 2004.)

Kuiva prosessin etuna on se, että se tuottaa märkä prosessia vähemmän nestepäästöjä. Luonnon kumi ja synteettinen kumi voidaan prosessoida samanaikaisesti. Prosessin osat on esitetty kuvassa 22. (CalRecovery Inc 2004.)



Kuva 22. Devulkanointi höyryn avulla. (CalRecovery Inc 2004.)

4.3.7 Arvio devulkanoitujen komponenttien uudelleenkäytettävyydestä

Devulkanoidun kumin ominaisuudet riippuvat devulkanisointiprosessista ja sen onnistumisesta. Devulkanoitavan kumin ominaisuudet riippuvat siitä, että mitä kaikkia eri aineita on seostettu kumimassaan valmistettaessa renkaita.

Seostamisessa kumiin yhdistetään kaikki ne aineet, jotka ovat mukana lopullisessa vulkanoidussa tuotteessa. Seostaminen on kokonaisvaltainen resepti, jossa eri ainesosia sekoitetaan, jauhetaan, extruroidaan, kalanteroidaan, valetaan tai muovataan ja lopuksi kovetetaan eri lämpötiloissa. Kalanteroinnissa kumimassa syötetään telojen väliin ja niiden keskinäistä etäisyyttä säätämällä saadaan halutun paksuista kumilevyä. Resepti voi myös sisältää esimerkiksi hiilimustaa, erilaisia täyteaineita, pehmittimiä, antioksidanteja, rikkiä, kovettimia, kiihdyttimiä ja aktivaattorieta.

Kumin vulkanointi prosessina on hyvin monimutkainen ja autonrenkas tuotteen muodostuu sen lisäksi myös monista muista komponenteista, joten devulkanoimalla ei koskaan pystytä tuottamaan täysin puhdasta kumiraaka-ainetta. Lähteenä olleen tutkimuksen tavoitteena olikin löytää jättekumimateriaalille sellainen käsittelytapa, että sen avulla voidaan korvata osa neitseellisistä kumiraaka-aineista. DI – työn tekemisen aikana tiedossa ei ollut yhtään devulkanointimenetelmää, jota käytettäisiin teollisessa mittakaavassa. (Saiwari 2013.)

4.4 Hajottamisessa syntyvät hiilimustat

4.4.1 Yleistä hiilimustien koostumuksesta ja tuotannosta

Hiilimusta koostuu erittäin pienistä partikkeleista, jotka muodostavat aggregaatteja. Partikkelien rakenne ja koko vaihtelevat paljon riippuen valmistusmenetelmästä. Hiilimustat luokitellaan ja nimetään järjestysnumeroon perustuvalla menetelmällä, jossa mitataan hiilimustan pinta-alaa ja määritetään sen rakennetta. Kansainvälinen luokitus on nimeltään ASTM – luokitus. Kumituotteisiin käytettäviä laatuja on rekisteröity yli 40 kappaletta. (Canarb 2014.)

Hiilimustaa edelsi lamppumusta (lamb black), jota on käytetty mm. pigmenttinä jo tuhansia vuosia. Lamppumusta eroaa nykyistä hiilimustista sekä rakenteeltaan että puh-taudeltaan. Lamppumustan tuotantomenetelmä keksittiin Kiinassa jo 3500 vuotta sitten. (Patnaik ja Brown 2010.)

Rakenteeltaan hiilimusta on hienojakeinen pulverimainen aine ja se on yksi stabiileimista kemiallisista teollisuuden raaka-aineista. Partikkelikoko voi vaihdella kymmenistä nanometreistä muutamiin satoihin nanometreihin, joten hiilimusta on hyvin monipuolinen raaka-aine erilaisissa tuotesovelluksissa. Puhtaiksi kaupallisiksi hiilimustiksi laa-duiksi luetetaan ne laadut, joiden hiilipitoisuus on yli 97 %. Vuonna 2005 hiilimustaa tuotettiin 10 miljoonaa tonnia ja se kuuluu maailman 50 käytetyimmän kemikaalin joukkoon. (Patnaik ja Brown 2010.)

Hiilimustaa valmistetaan anaerobisella kuumakäsittelyllä hiilivetyjä sisältävistä liuok-sista tai kaasuista. Lähtöaineet ja valmistusmenetelmä vaikuttavat hiilimustan saantoon ja ominaisuuksiin, joista tärkeimmät ovat partikkelikoko, rakenne ja puhtaus. Hiilimustan valmistusmenetelmistä yleisin on uunimusta, jonka osuus hiilimustan tuotannosta on 95 %. Toiseksi yleisin on terminen hiilimusta (thermal black) ja muita valmistusmene-telmiä ovat lamppumusta, asetyleenimusta (acetylene black) ja channel black. Uunimus-tan ja termisen hiilimusta prosessit ovat käytännössä samanlaisia, mutta ne poikkeavat lähtöaineen osalta, joka termisessä hiilimustassa on maakaasu ja uunimustaprosessissa korkea-aromaattinen öljy. (Patnaik ja Brown 2010.)

Hiilimustan tuotantokapasiteetit maailmassa ja Länsi-Euroopassa v. 2005 ovat taulu-koissa 4 ja 5.

Taulukko 4. Maailman hiilimustan tuotantokapasiteetti vuonna 2005. (Veena 2006.)

| Alue | Tuotanto, Miljoonaa tonnia | Prosenttiosuus koko volyymistä |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Pohjois Amerikka (1) | 2,3 | 25 |
| Etelä Amerikka | 0,5 | 6 |
| Läntinen Euroop- pa | 1,3 | 14 |
| Itäinen Eurooppa | 1,4 | 16 |
| Japani | 0,8 | 9 |
| Muu Aasia (2) | 3,3 | 26 |
| Afrikka ja Lähi-itä | 0,4 | 4 |
| Yhteensä | 10,0 | 100 |

(1) Kanada, Meksiko ja Yhdysvallat

(2) Australia, Kiina, Intia, Indonesia, Malesia, Filippiinit, Etelä-Korea, Singapore ja Thaimaa

Taulukko 5. Läntisen Euroopan hiilimustan tuotantokapasiteetti vuonna 2005. (Veena 2006.)

| Maa | Tuotantolaitosten lukumäärä | Tuotanto, Tuhansia tonneja | Prosenttiosuus |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|
| Belgia | 1 | 6 | Alle 1 |
| Ranska | 4 | 264 | 21 |
| Saksa | 4 | 322 | 25 |
| Italia | 3 | 221 | 17 |
| Alankomaat | 2 | 155 | 12 |
| Portugali | 1 | 35 | 3 |
| Espanja | 1 | 60 | 5 |
| Ruotsi | 1 | 40 | 3 |
| Englanti | 2 | 170 | 13 |
| Yhteensä | 19 | 1273 | 100 |

Hiilimustaa voidaan valmistaa erilaisista kierrätys- tai uusioraaka-aineista, jotka sisältävät hiiltä, eli esimerkiksi jäteöljyistä, papereista, muoveista, kumista ja kotitalousjätteistä, sekä kierrätetystä rengaskumista. Käytettäessä kierrätys- tai uusioraaka-aineita hiilimustaan jää erilaisia jatkokäyttöä haittaavia epäpuhtauksia. Hiilimustan tuotannosta 70 % käytetään renkaiden valmistukseen, 20 % muihin kumituotteisiin ja 10 % muiden kuin kumituotteiden valmistukseen, joita ovat mm. muovit, maalit ja musteet. (Patnaik ja Brown 2010.)

4.4.2 Eri hiilimustat

Uunimusta

Uunimustamenetelmällä voidaan hiilimustan ominaisuuksiin vaikuttaa hyvin laaja-alaisesti. Menetelmä kehitettiin 1940 – luvulla ja sen suurin etu verrattuna termiseen menetelmään on öljyn kuljettamisen helppous verrattuna maakaasuun. Lisäksi menetelmä etuina on sen tuotannon laaja-alaisuus sekä ympäristöystävällisyys. Raaka-aineina käytetään raskaita polttoöljyjä, jakotislauksen pohjaöljyjä, etyleenin tislauksen jäännöstuotteita ja kivihiilitervaa. (Veena 2006.)

Prosessissa esilämmitetty öljy syötetään mikropisaroina polttokammioon, jonka painetta ja lämpötilaa säädellään. Kaasuuntunut öljy poltetaan 1400 – 1800 asteen lämpötilassa yhdessä korkeapitoisen hapettimen kanssa. Kaasuvirtauksen läpi syötetään vesisuihku, johon hiilimustapartikkelit kiinnittyvät. Syntynyt hiilimustapitoinen vesi johdetaan lämmönvaihtimien kautta pussisuodattimille, joista saatava kuohkea hiilimusta sekoitetaan veteen. Syntyneet märkärakeet kuivataan ja toimitetaan jatkojalostukseen sellaiseen tai pelletöitynä. (Veena 2006.)

Terminen hiilimusta

Termisen hiilimustan tuotannon raakakaasuja voivat olla maakaasu, koksiumusta saatava kaasu tai nestemäinen hiilivety. Termisestä tuotannosta saatava hiilimusta on markkinoiden kalleinta, jonka johdosta sen tuotantoon pyritään löytämään mahdollisimman halpa kaasu. Saatavalla hiilimustalla on erityisominaisuuksia, kuten suuret partikkelit ja pieni happipitoisuus, joiden johdosta sillä on kuitenkin kysyntää vaativien kumi- ja muovituotteiden valmistuksessa. (Veena 2006.)

Lamppumusta

Kuten jo aikaisemmin todettiin, lamppumustan valmistusprosessi on vanhin ja alkukantaisin hiilimustan valmistusmenetelmä, joka on vieläkin käytössä. Lamppumustamenetelmässä hiilimusta saadaan aikaan rajoittamalla hapen pääsyä polttotapahtumaan. Hiilimusta kerääntyy laskeutumiskammioihin, joista se kaavitaan talteen. Nykyään tuotanto on pienimittakaavaista ja sitä tehdään lähinnä maaliteollisuuden tarpeisiin. (Veena 2006.)

Asetyleenimusta

Asetyleenillä on korkea hiilipitoisuus (92 %) ja se yhdistettynä eksotermiseen hiilen ja vedyn hajotusprosessiin tekee siitä kiinnostavan raaka-aineen hiilimustan valmistukseen. Asetyleenimustaa valmistetaan normaalipaineessa olevassa jatkuvatoimisessa prosessissa, jonka lämpötila on 800 – 1 000 °C. Johtuen reaktion eksotermisyydestä se on omavarainen lämmöntuotannon suhteen ja prosessin tavoitelämpötila saadaan jäähdytysveden avulla. Syntyvä vetykaasu jäähdytetään hiilimustan erotusta varten. Prosessista saatava hiilimusta on erittäin kuohkeaa ja sen erityisominaisuuksia ovat korkea lämmön- ja sähkönjohtokyky sekä korkea nesteiden absorptiokyky ja alhainen kosteuden absorptiokyky. (Veena 2006.)

Channel black

Yksi hiilimustan tuotantotapa on channel black – prosessi, jonka on käytännössä lähes kokonaan korvannut öljy-uunimustaprosessi. Channel black – termille ei ole olemassa suomenkielistä sanaa. Channel black hiilimustaa syntyy, kun rautalaattaa poltetaan kaasuleikillä. Hiilimusta muodostaa laatan alapinnalle, josta se kaavitaan talteen. Toinen syy menetelmän käytöstä poistumiseen oli sen aiheuttamat ympäristöongelmat, joista ilman saastuminen oli yksi pahimmista. (Veena 2006.)

Nykyään käytössä olevissa channel black – prosesseissa käytetään hiilitervajakeita ja vesijäähdytteisiä teloja. Hiilimusta kaavitaan telapinnoilta. Pussisuodattimiin ohjattavan ohivirtauskaasun hiilimusta saadaan talteen pussisuodattimilta. Yleensä apukaasuina käytetään koksivuunin kaasuja. Hiilimusta on ominaisuuksiltaan samankaltaista riippumatta siitä, että onko se tuotettu vanhemmalla channel black - menetelmällä vai uudemmalla. (Veena 2006.)

4.4.3 Hiilimustan ominaisuudet

Hiilimustan partikkelikoko on pieni, jonka johdosta yksittäisen partikkelin massa on pieni verrattuna sen pinta-alaan. Hiilimustan pinta-ala vaihtelee paljon. Normaalisti hiilimustan pinta-ala on $7 - 15 \text{ m}^2/\text{g}$, mutta kaikkien hienorakeisemmilla se voi olla jopa $1700 \text{ m}^2/\text{g}$. Tämän johdosta hiilimusta on hyvin pinta-aktiivinen materiaali, josta on hyötyä sen käytössä. Haittana suuresta pinta-aktiivisuudesta on se, että hiilimusta adsorboi helposti itseensä epäpuhtauksia valmistusprosessin aikana. (Patnaik ja Brown 2010.)

Hiilimustan käytön kannalta eräs tärkeimmistä sen ominaisuuksista on hiilipitoisuus, joka on pyrolyysillä valmistetuissa hiilimustissa noin 91 %. Tämä rajoittaa pyrolyysillä tuotettujen hiilimustien käyttömahdollisuuksia teollisuudessa. (Patnaik ja Brown 2010.)

Raaka-aineen epätasaisuudesta johtuen pyrolyysillä valmistetun hiilimustan epäpuhtauksien määrä voi vaihdella hyvinkin paljon, joka myös asettaa omia haasteita niiden käyttöön. Renkaista valmistetussa hiilimustassa suurimmat epäpuhtaudet ovat rikki, piidioksidi ja sinkkioksidi. (Patnaik ja Brown 2010.)

Taulukko 6. Tyypillisimpiä hiilimustasta määriteltyjä aineita. (Veena 2006.)

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

(see also IARC, 1984, 2010)

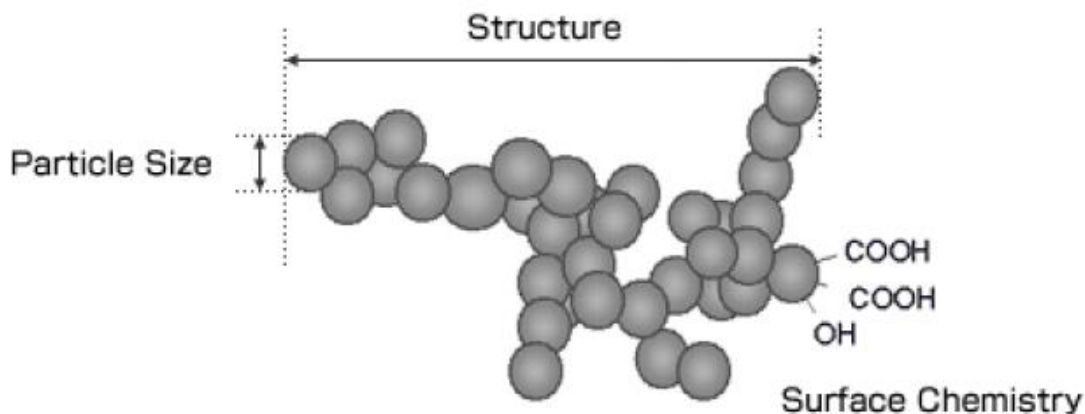
| | |
|--|---|
| Acenaphthene | Fluorene |
| Acenaphthylene | Indeno [1,2,3- <i>cd</i>]pyrene |
| Anthanthrene | Naphthalene |
| Anthracene | Perylene |
| Benz[<i>a</i>]acenaphthylene | Phenanthrene |
| Benz[<i>a</i>]anthracene | Pyrene |
| Benzo[<i>b</i>]fluoranthene | 1,3-Dinitropyrene |
| Benzo[<i>ghi</i>]fluoranthene | 1,6-Dinitropyrene |
| Benzo[<i>j</i>]fluoranthene | 1,8-Dinitropyrene |
| Benzo[<i>k</i>]fluoranthene | 9-Nitroanthracene |
| Benzo[<i>a</i>]pyrene | 3-Nitro-9-fluorenone |
| Benzo[<i>e</i>]pyrene | 1-Nitronaphthalene |
| Benzo[<i>ghi</i>]perylene | 1-Nitropyrene |
| Chrysene | 1,3,6-Trinitropyrene |
| Coronene | <i>PAHs that contain sulfur</i> |
| 4 <i>H</i> -Cyclopenta[<i>def</i>]phenanthrene | Benzo[<i>def</i>]dibenzothiophene |
| Cyclopenta[<i>cd</i>]pyrene | Dibenzothiophene |
| Dibenz[<i>ah</i>]anthracene | Phenanthro[4,5- <i>bcd</i>]thiophene |
| Fluoranthene | Triphenyleno[4,5- <i>bcd</i>]thiophene |

Taulukon 6 perusteella hiilimustasta on määritetty useita polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli PAH – yhdisteitä. Ne muodostuvat kahdesta tai useammasta yhteen fuusioituneesta bentseenirenkaasta. Useat PAH – yhdisteet ovat syöpää ja perimämuutoksia aiheuttavia. Tunnettuja karsinogeneeneja ovat esimerkiksi bentso(a), pyreeni ja dibentso [a,h] antraseeni. Suomessa PAH – yhdisteet sekä työ, johon liittyy altistuminen PAH – yhdisteille on luokiteltu syöpävaaralliseksi. Elimistöön PAH – yhdisteet kulkeutuvat hengitysilman kautta tai ihon läpi ja työperäistä altistumista tapahtuu mm. kumiteollisuudessa. Kemiallisen koostumuksen vuoksi hiilimustan käytössä on huomioitava em. mahdolliset terveys- ja ympäristövaikutukset. (Mäkelä 2015.)

Hiilimustan ominaisuuksiin eniten vaikuttavat partikkelien koko, niiden rakenne ja pintakemia. Hiilimustan mustan sävyyn ja sekoitettavuuteen vaikuttaa eniten partikkelin halkaisija. Koon pienentyessä sävy paranee, mutta sekoitettavuus vaikeutuu kasvavan voimantarpeen takia. Rakenteen kasvu parantaa sähkönjohtavuutta ja helpottaa sekoittamista, mutta heikentää sävyä. Hiilimustan pinnan sisältämät funktionaaliset kemialliset ryhmät vaikuttavat hiilimustan käyttöön musteiden ja maalien raaka-aineena.

Pieni partikkelikoko parantaa UV – kestävyyttä käytettäessä hiilimustaa muovin raaka-aineena. Optimaalisin partikkelikoko muovin pigmenttikäytössä on 18 – 28 micronia. 40 micronin partikkeleilla voidaan lisätä HDPE – paineputkien muovien taivutuslujuutta. Termisellä menetelmällä valmistetun hiilimustan partikkelikoko on 3 – 20 kertaa suurempi kuin uunimustalla valmistetun hiilimustan partikkelikoko. Uunimustassa aggretoituneet partikkelit liittyvät toisiinsa rypäletertumaisiksi rykelmiksi tai ne muodostavat verkkomaisia ketjuja.

Hiilimusta muodostuu pyöreistä partikkeleista, jotka muodostavat ketjumaisia aggregaatteja. Ketjuuntuminen voi olla nopeaa ja siinä voi olla muutamista partikkeleista jopa satoihin partikkeleihin asti olevia rakenteita. Aggregaatit voivat muodostaa keskenään isompia aglomeraatteja, jotka kiinnittyvät toisiinsa van der Waalsin sidoksilla. Kuvassa 23 on hiilimustapartikkeli kiinnittyneenä aggregaattiin.



Kuva 23. Hiilimustapartikkeli aggregaattiin kiinnittyneenä. (Veena 2006.)

Hiilimusta-aggregaatin ominaisuudet riippuvat ketjun halkaisijasta eli paksuudesta ja sen haaroittuneisuudesta, joka kuvaa ketjun jäykkyyttä ja aggregaatin kokoa. Näiden kahden ominaisuuden perusteella määräytyy aggregaatin tilavuudellinen rakenne, eli sen kyky absorboida nesteitä itseensä.

Hiilimustassa olevat epäpuhtaudet voivat aiheuttaa jälkiä lopputuotteisiin sekä heikentää kumi- ja muovituotteiden fysikaalisia ominaisuuksia. Pääasiassa nämä epäpuhtaudet ovat kalsiumia, magnesiumia, natriumia ja pieniä määriä eri metalleja. Myös polyaromaattiset hiilivedyt lasketaan epäpuhtauksiin, mutta ne voidaan uuttaa pois hiilimustasta.

4.4.4 Hiilimustan käyttö

Suurin osa hiilimustasta käytetään raaka-aineena rengas- ja kumiteollisuudessa parantamaan lopputuotteiden ominaisuuksia. Yksittäisenä käyttäjänä rengasteollisuus on suurin ja renkaan käyttökohteesta riippuen hiilimustan osuus renkaan kokonaispainosta on 20 – 40 %. Kumiteollisuudelle tarkoitettujen hiilimustien tärkeimpiä ominaisuuksia ovat musta väri, kulutuksen kestävyys ja vetolujuus. Yli 90 % hiilimustan tuotannosta päättyy kumiteollisuuden tarpeisiin. (Veena 2006.)

Rengasteollisuuden tarpeisiin kehitetään koko ajan uusia hiilimustalaatuja. Niiden avulla yritetään vastata rengasteollisuudesta tuleviin haasteisiin, jotka liittyvät haettaessa renkaalta pienempää vierintävastusta ja parempia pito-ominaisuuksia. Hiilimustalla voidaan vaikuttaa kumin vulkanoitumisnopeuteen ja venymislujuuteen, sekä parantaa useiden elastomeerien kuten luonnon- ja synteesikumien prosessoitavuutta. (Veena 2006.)

Musteissa ja maaleissa hiilimustaa käytetään antamaan lopputuotteelle tarvittava musta väri. Tämä on hiilimustan toinen pääkäyttökohde. Musteissa hiilimustapitoisuus voi vaihdella 5 – 22 % välillä ja pitoisuus määräytyy mm. halutun värin, sävyn, kiillon ja viskositeetin perusteella. Maaleissa hiilimustaa käytetään maalien väriaineiden sävytykseen ja pigmentointiin. (Veena 2006.)

Hiilimustaa käytetään myös muoviteollisuudessa, paperin erikoispäällysteissä ja aktiivihiilisuodattimissa. Muovituotteissa hiilimusta toimii mustan värin antajana, ultraviolettin valon stabiloijana, sähkönjohtokyvyn säätelijänä ja muovia lujittavana täyteaineena. Papereissa hiilimustaa käytetään päällysteaineissa. (Veena 2006.)

Hiilimustan lämpöarvo on 30 541 kJ/kg, joka lähes kaksinkertainen kivishiileen ja koksiin verrattuna. Sen johdosta hiilimustaa voidaan käyttää myös polttoaineen kivishiilen ja koksen sijasta. Renkaista valmistetussa hiilimustassa olevat epäpuhtaudet saattavat muodostaa poltossa rikkiyhdisteitä, typpioksideja, hiilivetyjä sekä muita yhdisteitä, jotka tulee huomioida suunniteltaessa hiilimustan käyttöä energiantuotannossa. (Veena 2006.)

Asfaltin alhaista pehmenemislämpötilaa voidaan nostaa hiilimustan avulla. Sihai Wein tutkimuksessa vuonna 2004 asfalttiin lisättiin 7 % hiilimustaa, jolloin sen lämmönkestävyys nousi 44 asteesta 81 asteeseen celsiusta.

5 TUTKIMUSAINESTO JA SKENAARIOIDEN LUOMINEN

5.1 Tietolähteet ja niiden käyttö

Työssä ei tehty erillisiä laboratoriokokeita tai tuotekehityskokeita, joten saadut tulokset perustuvat jo aikaisemmin tehtyihin kokeisiin. Niiden tuloksista on tarkasteluihin valittu työn kannalta keskeisimmät ja tulevaisuuden osalta mielenkiintoisimmat osat. Tulosten perusteella on luotu eri skenaarioita Suomessa kierrätettävien renkaiden käsittelyvaihtoehtoiksi. Eri menetelmiä koskevia tuloksia on koottu alan kirjallisuudesta siten, että ne yhdessä antavat kattavan kuvan renkaiden hyötykäytön kokonaistilanteesta. Nykyisen tietoyhteiskunnan johdosta suurin osa kirjallisesta informaatiosta on saatu eri internet – linkkien kautta ja perinteisten painettujen lähteiden osuus on selkeästi pienempi.

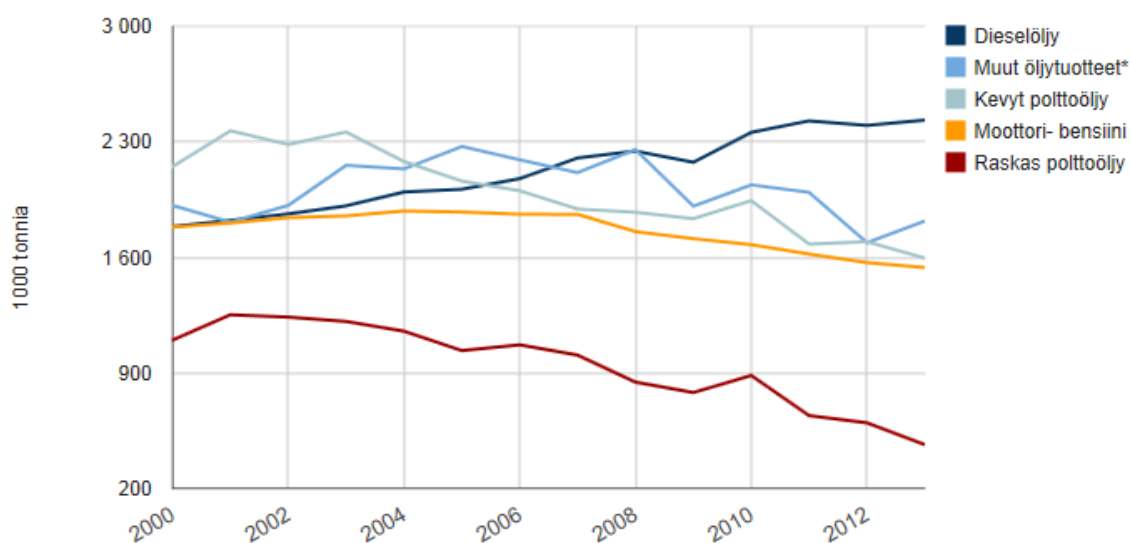
Käytöstä poistettujen renkaiden määriin ja olemassa olevista hyötykäyttötavoista tietoja on koottu Euroopan osalta käyttäen European Tyre & Rubber Manufacturers Associationin (ETRMA) tilastoja ja Suomen osalta Suomen Rengaskierrätys Oy:n kokoamia tietoja. Työn tekijä on myös henkilökohtaisesti osallistunut Tyre Rubber Recycling -seminaariin Brysselissä marraskuussa 2013, sekä European Conference on tyre recycling – konferenssiin Brysselissä huhtikuussa 2014. Molempien tapahtumien yhteydessä järjestettiin useita erillisiä työpajoja liittyen käytöstä poistettujen renkaiden eri hyötykäyttöratkaisuihin. Asiantuntijatapaamiset ja keskustelut molempien konferenssien yhteydessä antoivat hyvän kokonaiskäsityksen siitä, millaisiin hyötykäyttömuotoihin Eurooppalaiset renkaiden kierrättäjät aikovat eniten panostaa tulevaisuudessa.

Eri vaihtoehtoihin liittyvät tulokset työn tekijä on koonnut itsenäisesti käyttäen eri tietolähteitä, kuten esimerkiksi tullin tilastoja. Työn aikana ilmeni, että aiheeseen liittyvää tutkimusta on maailmanlaajuisestikin tarkasteltuna tehty melko vähän ja tehdyistä tutkimuksista huomattava osa on liittynyt pyrolyysiin. Eri skenaariovaihtojen tulosten pohdinta ja pohdinnan tuottamat päätelmät sisältävät myös paljon tekijän omia mielipiteitä, joiden yhtenä perustana on ollut tekijän työ metallien kierrätyksen parissa. Materiaalien kierrätyksessä on paljon asioita, jotka ovat samoja riippumatta kierrätettävän materiaalin laadusta. Näitä ovat mm. keräilyn ja logistiikan tärkeys, sekä kierrättämällä saatujen lopputuotteiden kilpailukyky verrattuna neitseellisistä raaka-aineista valmistettuihin tuotteisiin. Myös suurin osa yhteiskunnallisista tekijöistä ja yksittäisten kuluttajien mielipiteisiin vaikuttavista asioista ovat samoja.

5.2 Pyrolyysiöljyä koskevat tiedot ja niiden analysointi

Pyrolyysiöljy saadaan jäähdyttämällä pyrolyysiprosessissa syntyvää pyrolyysikaasua. Nesteen tiivistymisen jälkeen pyrolyysiöljy kuivataan ja puhdistetaan. Käytettävyydeltään pyrolyysiöljy vastaa raskasta polttoöljyä, mutta sen alhainen leimahduspiste (tai heikko puristuksen kestävyys) tuo omat haasteensa, jotta lopputuotteesta saadaan vaatimukset täyttävä polttoaine. Pyrolyysiöljyn leimahduspiste saattaa olla jopa alle 20 °C, kun se yleensä on raskaalla polttoöljyllä noin 60 °C. Leimahduspistettä voidaan korottaa tislauksen avulla, mutta eräs hyvä ja tehokas tapa on sekoittaa käsitelty pyrolyysiöljy normaaliin polttoaineeseen. (Nurmi ym. 2014.)

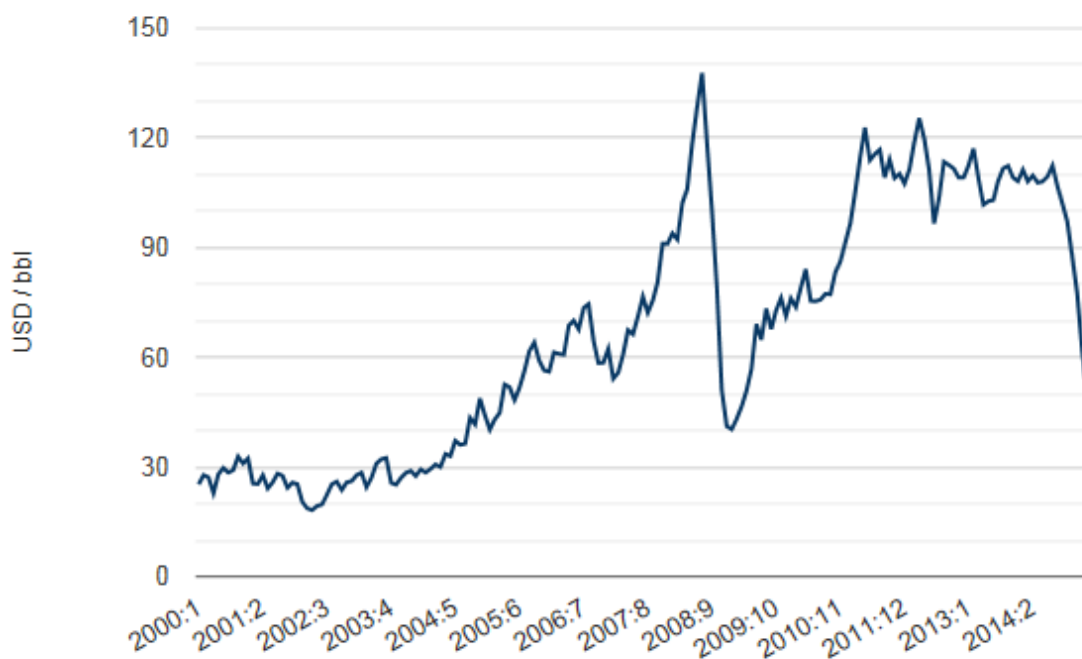
Pyrolyysiöljyä saadaan noin 43 % prosessiin syötetyistä renkaista, joten mikäli kaikki 35 000 tonnia renkaita vuodessa käytettäisiin pyrolyysissä, niin pyrolyysiöljyä saataisiin kaikkiaan 15 050 tonnia vuodessa, josta 85 % on ns. raskasta öljyä. Vaikka raskaan polttoöljyn käyttö vähenee koko ajan pääasiassa lämmöntuotannon muuttumisen johdosta (ks. Kuva 25), niin kuitenkin sitä käytettiin vuonna 2014 yhteensä 440 540 tonnia. Eli pyrolyysissä syntyvän raskaan pyrolyysiöljyn määrä olisi kuitenkin vain marginaalinen koko Suomen raskaan polttoöljyn markkinaan verrattuna. Kuvassa 25 näkyy öljytuotteiden kulutuksen muuttuminen 2000 – luvulla. (Ölly- ja biopolttoaineala ry 2015.)



Kuva 25. Öljytuotteiden käytön kehittyminen Suomessa 2000 – luvulla. (Ölly- ja biopolttoaineala ry 2015.)

Lämmön- ja/tai sähköntuotannon jälkeen eräs suurimpia raskaan polttoöljyn käyttäjiä ovat olleet rahti- ja matkustajalaivat. EU:n rikkidirektiivi astui voimaan 1.1.2015. Itämerellä käytettävien laivapolttoaineiden maksimi rikkipitoisuudeksi säädettiin 0,1 %. Pyrolyysiöljyn rikkipitoisuus on yleensä yhden prosentin luokkaa, joten sen käyttö laivojen polttoaineena vaatii rikinpoistoa ja muuta sen käsittelyä esim. tislamalla. Käytännössä pyrolyysiöljyä voidaan tällöin sellaisenaan käyttää vain lämmön- ja sähköntuotannon polttoaineena. (Nurmi ym. 2014.)

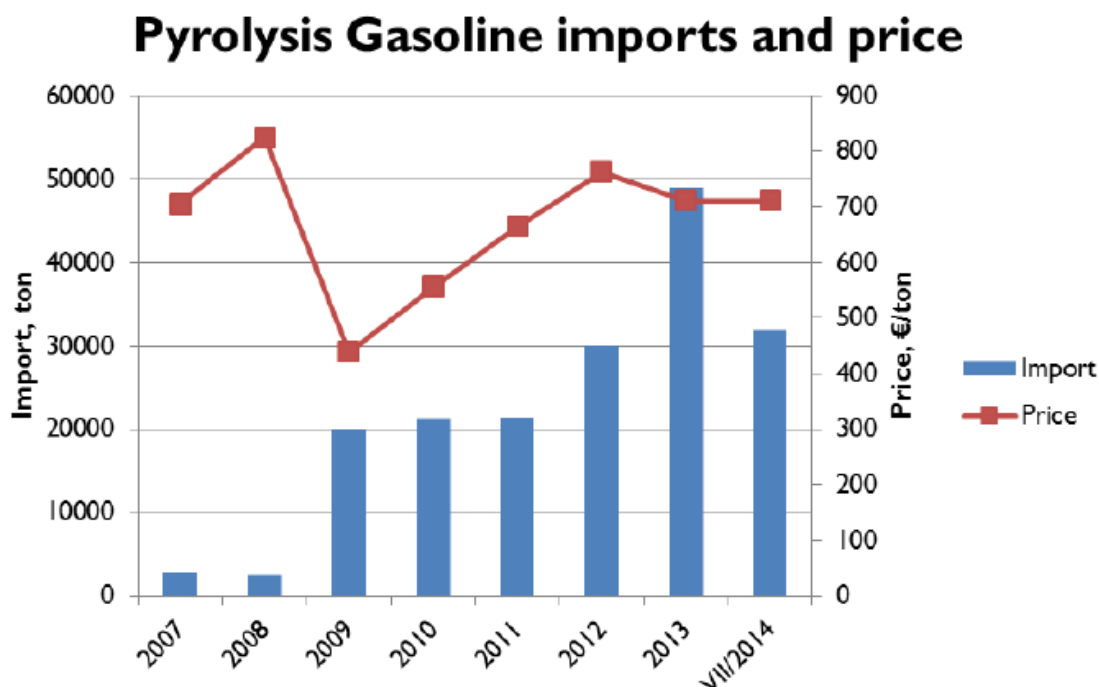
Pyrolyysiöljyn tuotannon kannattavuus on suoraan riippuvainen kilpailevien öljytuotteiden hinnoista. Kuvassa 26 on raakaöljyn Brent – laadun barrelihinnan hintakehitys dollareissa. Raakaöljyn hinta oli poikkeuksellisen alhaalla helmikuussa 2015 (Ölly- ja biopolttoaineala ry, 2015). Raakaöljyn hinta on ollut yhtä alhaisella tasolla kuin helmikuussa 2015 viimeksi laman aikana 2008 – 09. Alhainen raakaöljyn hinta tekee pyrolyysiöljyn tuotannosta taloudellisesti kannattamatonta. Lisääntynyt liuskeöljyn tuotanto, uudet energialähteet ja ympäristötietoisuuden lisäys pitävät raakaöljyn hinnankorotukset mallillisina myös tulevaisuudessa.



Kuva 26. Raakaöljyn Brent – laadun barrelihinnan hintakehitys 2000 – luvulla. (Ölly- ja biopolttoaineala ry 2015.)

Tullin tilastojen mukaan Suomeen tuotiin vuonna 2013 lähes 50 000 tonnia pyrolyysibensiiniä korvaamaan teollisuusbensiiniä muovituotannossa. Pyrolyysi bensiinillä tarkoitetaan pyrolyysiprosessin avulla tuotettua bensiiniä, joka vastaa ominaisuuksiltaan teollisuusbensiiniä Tullin mukaan tuodun pyrolyysibensiinin keskihinta oli kuvan 27 mukaan noin 700 €/t. Tilastoista ei käy ilmi pyrolyysibensiinin tekemisessä käytetyt raaka-aineet. Kuvassa 24 olevan Nippon Steelin prosessin tietojen perusteella voidaan laskea pyrolyysi bensiiniä (ligh oil) syntyvän noin 13 % syötetyn rengasrouheen määrästä. Joten koko 50 000 tonnin pyrolyysiöljyn tuottamiseen tarvittaisiin tällöin vähintään lähes 400 000 tonnia renkaita. Todellinen määrä on vielä suurempi, koska prosessista saatava pyrolyysi bensiini (light oil) vaatii esim. puhdistamista suodattamalla. (Nurmi ym. 2014.)

Työssä esiteltyjen renkaita hyödyntävien toimivien pyrolyysilaitosten yhteenlaskettu kapasiteetti jää reilusti alle 100 000 tonnin ja siitäkin yli puolet käyttää Nippon Steel. Pelkästään Euroopassa granuloidaan käytöstä poistettuja renkaita noin kolminkertainen määrä verrattuna tiedossa oleviin pyrolyysilaitoksiin koko maailmassa.



Kuva 27. Pyrolyysibensiinin tuonti ja hinta. (Nurmi ym. 2014.)

Selitys tullin tilaston ilmoittamalle Suomeen tuodulle pyrolyysibensiinin määrälle on todennäköisesti se, että pyrolyysibensiini on tuotettu pyrolyysin avulla, mutta raaka-aineena on ollut joku muu prosessiin sopiva materiaali. Oleellisempi tieto kuvassa 27 on pyrolyysibensiini hinta. Taloussanomien mukaan 11.2.2015 raskaanpolttoöljyn arvo oli 318,75 €/t. Pyrolyysiöljyssä on kevyttä pyrolyysibensiiniä 15 % ja raskaaseen polttoöljyyn verrattavaa raskasta pyrolyysiöljyä 85 %, joten pyrolyysibensiinin ja raskaan polttoöljyn hinnan perusteella voidaan laskea pyrolyysiöljylle laskennallinen arvo, joka on noiden lukujen perusteella noin 375 €/t. (Taloussanomien 2015.)

5.3 Muut pyrolyysissä saatavat tuotteet ja niiden analysointi

5.3.1 Hiilimusta

Hiilimustaa saadaan kierrätettyjen renkaiden pyrolyysin sivutuotteena 23 – 30 % käytetyn syötteen määrästä, mutta se ei laadultaan täytä kaikilta osin hiilimustalle asetettuja laatuvaatimuksia. Pyrolyysissä saatavaa hiilimustaa on kokeiltu muovien valmistuksessa, mutta se ei ole onnistunut ja käyttö vaatii jatkossa hiilimustan laadun huomattavaa parantumista. Paras vaihtoehto pyrolyysissä syntyvälle hiilimustalle on sen poltto voimalaitoksissa. (Nurmi ym. 2014.)

Tullitilastojen mukaan Suomeen tuotiin vuonna 2013 hiilimustaa 16 300 tonnia kumi- ja muoviteollisuuden tarpeisiin. Tuodun hiilimustan keskihinta oli tullin tilastojen mukaan noin 1,4 €/kg. Koska renkaiden pyrolyysissä saatava hiilimusta ei täytä kumi- ja muoviteollisuuden laatuvaatimuksia, niin sen arvoa on mahdotonta määritellä tarkasti. Joka tapauksessa se on huomattavasti normaalia hiilimustaa alhaisempi.

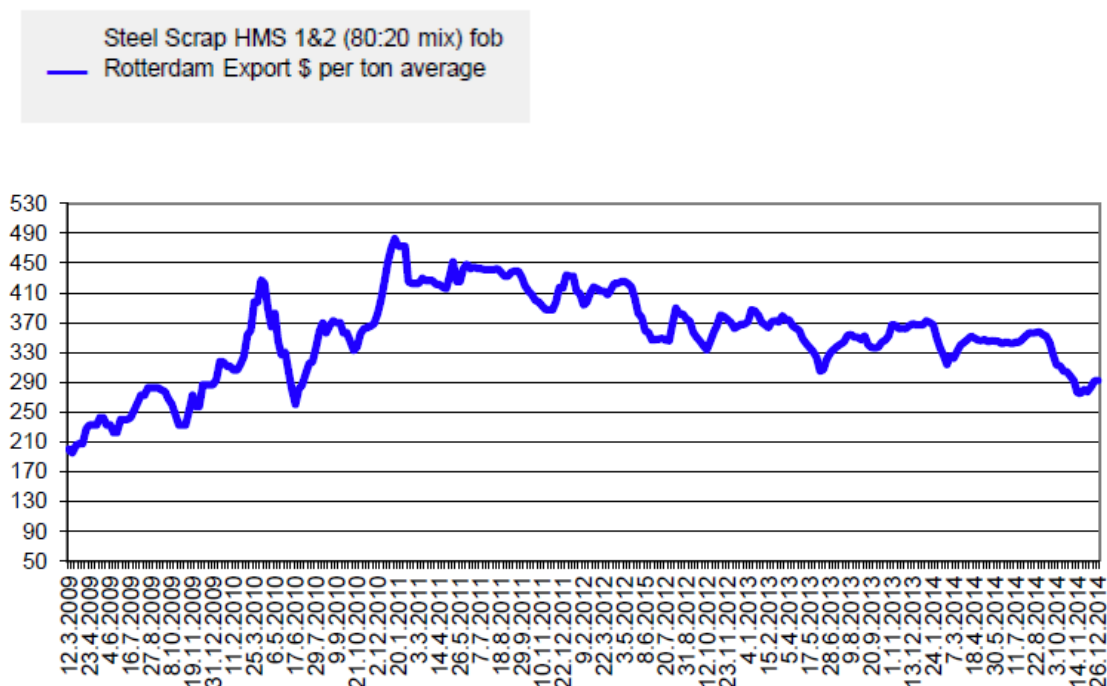
Renkaiden pyrolyysissä syntyvä hiilimustan hintaa voidaan arvioida esimerkiksi voimalaitoksissa käytettävän koksen avulla. Tullin tilastojen mukaan koksia tuotiin Suomeen vuonna 2013 yhteensä 61 000 tonnia keskihinnan ollessa 284 €/t. (Nurmi ym. 2014.)

5.3.2 Teräsromu

Kierrätettyjen renkaiden pyrolyysiprosessissa sivutuotteena saatava teräsromu koostuu renkaiden teräsvahvikkeista ja talvirenkaiden nastoista. Pyrolyysiprosessin sivutuotteena saatava teräsromu on käytännössä ohutta teräslankaa ja prosessin luonteesta johtuen se on hyvin puhdasta, eikä sisällä juurikaan muuta kuin metallia. Teräsromu on jo sellaisenaan käyttökelpoista terästehtaiden valokaariuuneihin, mutta usein sitä sekoitetaan yhdessä murskeen kanssa, jotta saavutetaan haluttu kuutiopaino ja varmistetaan oikeat panostussuhteet. Taulukon 2 mukaan käytetyssä renkaassa on terästä 13,3 %. (Ranta 2002.)

Teräsromu on tärkeä raaka-aine erityisesti niille terästehtaille, joiden sulatusprosessi perustuu valokaariuuneihin. Valokaariuuneissa voidaan sulattaa vain teräsromua. Massuuniprosesseihin perustuvissa terästehtaissa pääasiallinen teräksen raaka-aine on rautamalmi, mutta nekin käyttävät teräsromua mm. sulan lämpötilan hallintaan. Teräsromu on eräs tärkeimmistä raaka-aineista terästen tuotannossa. Suomalaiset terästehtaat ostavat tarvitsemansa teräsromun neljän tukkurin kautta ja tarkkoja hintatietoja ei ole saatavilla.

Yleisellä tasolla tiedetään kuitenkin, että pyrolyysissä saatavan teräsromun hinta noudattaa HMS 1&2 – laadun hintaa. HMS 1&2 – laatu on kansainvälisen romukaupan peruslaatu. Lyhenne HMS tulee englannin kielisistä sanoista *heavy metal scrap* ja 1&2 (80:20 mix) on laatua tarkentava määritelmä, jonka mukaan 80 % teräsromusta tulee olla paksuudeltaan yli 3 mm ja 20 % saa olla paksuudeltaan 3 mm ohuempaa teräsromua. Kuvassa 28 on Steel Scrap HMS 1&2 (80:20 mix) fob Rotterdam (Incoterms kauppatapalause, vapaasti laivaan lastattuna engl. Free On Board) hintakehitys dollareissa. Tammikuussa tehtyjen laivausten keskihinta oli 290,48 \$/t, joka muutettuna Suomen Pankin tammikuun USD/EUR – keskipurssilla tekee euroiksi muutettuna 249,96 €/t.



Kuva 28. Teräsromulaadun HMS 1&2 (80:20 mix) fob Rotterdam vientihinnan kehitys. (Heinonen 2015.)

5.3.3 Prosessikaasu

Pyrolyysissä syntyvät kevyet hiilivetykaasut puhdistetaan metaaniksi ja etaaniksi. Yleensä niiden avulla tuotetaan kaikki prosessin vaatima lämpö ja ylijäämlämpö voidaan johtaa kaukolämpöverkkoon.

5.4 Devulkanointiin perustuva käyttö

Devulkanointimenetelmiä on keksitty ja kehitetty useita eri tapoja, mutta kaikille niille on yhteistä se, että niitä ei ole saatu toimimaan halutulla tavalla. Yleensä prosessit ovat olleet liian hitaita ja tehottomia. Eli saadut lopputuotteet eivät ole olleet riittävän puhtaita käytettäväksi kumituotteiden raaka-aineena, eivätkä ne ole olleet hinnaltaan kilpailukykyisiä neitseellisten kumiraaka-aineiden rinnalla.

Suurin osa devulkanointimenetelmistä on ollut käytössä vain laboratorio – mittakaavassa. Varsinaista tuotantotoimintaa ei vielä ole tehty devulkanoimalla, joten lopputuotteiden soveltuvuudesta tai niiden hinnasta ei ole olemassa luotettavaa tietoa. DI – työn tekemisen yhteydessä ei myöskään tullut esiin yhtään suunnitteilla tai rakenteilla olevaa laitosta. (CalRecovery Inc 2004.)

Uusien renkaiden alati kasvavien vaatimusten ja niiden edellyttämien kompromissien lisääntyminen aiheuttaa aina suurempia vaatimuksia renkaiden valmistuksessa käytettäville komponenteille. Devulkanoimalla saatava kumin uusioraaka-aine on kaikesta huolimatta aina epäpuhdasta, joten sen käyttö etenkin renkaiden valmistuksessa on hyvin haasteellista. Luonnonkumia ja muita kumin valmistuksessa tarvittavia raaka-aineita on tällä hetkellä saatavana riittävästi, joten lähitulevaisuudessa ei ole nähtävissä tilanteeseen oleellista muutosta. (CalRecovery Inc 2004.)

5.5 Rengaskumirouheiden, -granulaattien ja -jauheiden tuotanto ja käyttö

5.5.1 Kokonaisten renkaiden ja rouheiden käyttö Suomessa

Sotavuodet katkaisivat Suomessa 1930 – luvulla alkaneen suotuisan kehityksen Suomen kumituotannossa ja yhdeksi suureksi ongelmaksi muodostui raaka-aineiden saanti. Sotatarviketeollisuus oli etusijalla ja kumiteollisuus kuului niihin teollisuuden aloihin, jotka olivat sodankäynnille välttämättömiä. Raaka-ainepulan helpottamiseksi jouduttiin pohtimaan uusia vaihtoehtoja ja jo käytössä oleva vaihtoehto oli regeneraatti. Regeneraatti on kumiromusta muokattu uusioraaka-aine, joka tarkoittaa vulkanoidun kumin käsittelemistä siten, että siitä saadaan vulkanoimatonta kumia vastaava massa. Suomen Gummitehdas oli uudistanut regenerointilaitoksensa 1937, eli jo 1930 – luvulla rengaskumi-jätettä pystyttiin hyödyntämään kumituotannossa. (Palo-Oja ja Willberg 1998.)

Nykyään kierrätetyn renkaan materiaalihyötykäyttö perustuu pääasiassa rengasmateriaalin kahteen käytön kannalta hyvään ominaisuuteen, joista ensimmäinen on se, että rengasmateriaali on hyvin stabiili materiaali. Rengasrouhe tai kokonaiset renkaat pysyvät lähes muuttumattomana vuosikausia, eikä niistä liukene haitallisia alkuaineita ympäristöön. Tämän ominaisuuden vuoksi rengasrouheella on korvattu kiviaineksista tehtyjä kerroksia esim. kaatopaikkarakentamisessa, josta on esimerkki kuvassa 29. Tässä hyötykäyttösovelluksessa erittäin suuri osa käytöstä poistetuista renkaista saadaan hyödynnettyä kaatopaikkojen sulkemiseen. (Sjöberg 2013.)



Kuva 29. Kaatopaikkarakentaminen (Suomen Rengaskierrätys Oy 2014.)

Toinen pääominaisuus on se, että rengasmateriaali ei ime itseensä vettä. Tällöin sitä voidaan käyttää rakenteissa, joiden kosteusolosuhteet voivat muuttua. Rengasmateriaalin tilavuus pysyy samana riippumatta siitä, että onko rakenne märkä vai kuiva.

5.5.2 Rengasrouheiden käyttö biosuodatuksessa

Käytöstä poistetuista renkaista valmistettua rengasrouhetta voidaan käyttää biosuodatusmateriaalina jätevesien puhdistuksessa. Rengasrouhe tarjoaa biofilmille laajan kasvualustan ja se pidättää etenkin fosforia rouheen sisältämän raudan ansioista. Kokeissa rengasrouheesta ei ole todettu liukenevan haitallisia aineita veteen tai maaperään, mutta sen käyttö edellyttää ympäristölupaa. (Pisto ja Rinnepelto 2014.)

Suomen Rengaskierrätys Oy, Kuusakoski Oy ja Apila Group Oy toteuttivat yhteistyössä tutkimushankkeen rengasrouheen soveltuvuudesta yhdyskuntajäteveden puhdistamisessa käytetyn biosuodattimen kantoaineeksi Heinolan Sahaniemen jäteveden puhdistamolla 28.8.2012 – 18.10.2013. Tutkimuksessa käytetty laitteisto rakennettiin siirrettävään konttiin ja siinä oli kolme erillistä reaktoria, jotka täytettiin eri palakokoa olevilla rengasrouheilla. Tällöin voitiin tutkia myös eri palakokojen vaikutusta puhdistustulokseen. Suodattimessa 1 käytettiin palakokoa 15 x 15 mm, suodattimessa 2 50 x 50 mm ja suodattimessa kolme palakoko oli 100 x 300 mm. (Pisto ja Rinnepelto 2014.)

Tutkimuksessa suodatettava vesi pumpattiin reaktorin yläosaan ja suodatettu vesi poistui sen alaosaan. Suodatin puhdistettiin takaisinhuuhtelun avulla kaksi kertaa vuorokaudessa. Suodatinpatjaa ilmastettiin syöttämällä ilmaa reaktorin alaosaan ja yläosa tuuletettiin poistoilmalla, joka suodatettiin aktiivihiilisuo-dattimella. Suodattimessa jäteveden ravinteita ravintonaan käyttävät mikrobit muodostavat ns. biofilmin kantoaineena toimivan rengasrouheen pinnalle. (Pisto ja Rinnepelto 2014.)

Syötetty vesi otettiin Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon jälkiselkeytysaltaasta ja suodattimen läpi virrannut vesi syötettiin takaisin jätevesilaitokselle uudelleen puhdistettavaksi. Mikrobitoiminnan käynnistymisen jälkeen kaikilla kolmella suodattimella pystyttiin vähentämään kokonaistyyppiä sekä ammoniumtyyppiä 30 – 40 %. Fosforia pystyttiin parhaimmillaan vähentämään jopa 80 % ja tutkimuksen tulosten perusteella fosforinpoisto tapahtuu kemiallisesti raudan saostaessa fosforia.. Parhaat kokonaistulokset tutkimuksessa saatiin suurimmalla rouhekoolla 100 x 300 mm, jolla oli myös vähiten tukkeutumisongelmia. (Pisto ja Rinnepelto 2014.)

Tutkimuksen perusteella rengasrouhe soveltuu varsin hyvin biosuodatuksen kantoaineeksi, mutta käytetyn laitteiston tekninen epävakaus ja soveltumattomuus tarkoitukseensa haittasivat tulosten tulkintaa. Tutkimuksessa ehdotetaan kokeiltavaksi rengasrouheen käyttöä kosteikkotyypisissä ratkaisussa, jossa rengasrouhe toimisi suodatinpatjana, jonka päällä kasvaisi kosteikkokasvillisuutta. (Pisto ja Rinnepelto 2014.)

Vedenpuhdistajana rengasrouhe toimii kasvualustana mikrobeille, jotka puhdistavat jätevedestä tyyppiä ja fosforia. Envor Groupin prosessissa puhdistettava jätevesi syntyy biokaasuprosessissa. Rengasrouheella korvataan puhdistusprosessissa yleensä käytettyä hiekkaa tai sepeliä. Niihin verrattuna rengasrouheen etuja ovat sen valmistus kierrätysmateriaalista ja rouheen keveys hiekkaan tai sepeliin verrattuna. Rengasrouheessa on myös paljon kantopinta-alaa, johon mikrobit voivat tarttua. (Haapamatti 2014.)

Rengasrouheen käyttö kaatopaikkarakentamisessa menettää suurimman käyttökohteensa vuonna 2016 voimaan astuvan uuden jätelain myötä. Se kieltää rengasrouheen käytön kaatopaikkojen pohjarakenteissa kuivatus – ja salaojituserroksissa. Uuden jätelain mukaan rengasrouhetta voidaan käyttää vain tiivistyserroksen yläpuolisissa osissa. Näitä kerroksia täytetään pääasiassa kaatopaikan tai sen eri osien sulkemisvaiheessa. (JL 410.) Suurin osa tai lähes kaikki suljettavat kaatopaikat ovat jo suljettuja, joten käyttömäärältään suurimman rengasrouhevolyymin käyttökohteet ovat käytännössä loppuneet. Jätelaki ja jätehierarkia, sekä kaikki uusiokäyttö ja kierrätystavoitteet tulevat alentamaan loppusijoitettavan jätteen määrää hyvin radikaalisti, joten vähien käytössä olevien kaatopaikkojen täyttyminen pienenee hyvin oleellisesti. Sen johdosta kaatopaikkarakentaminen tulee olemaan tulevaisuudessa vain hyvin pieni ja paikallinen rengasrouheen käyttökohde. Tämän perusteella rengasjätteelle on löydettävä uusia ja kiertotalouteen perustuvia hyödyntämiskohteita.

5.5.3 Granulaattien ja jauheiden tuotanto Euroopassa

Kumigranulaatilla tarkoitetaan rengaskumimateriaalista jauhamalla saatua hienojakoista purua, joka on kooltaan riisinjyvän suuruinen. Granulointi on nimitys prosessille, jossa jätekumimateriaalista tuotetaan granulaattia.

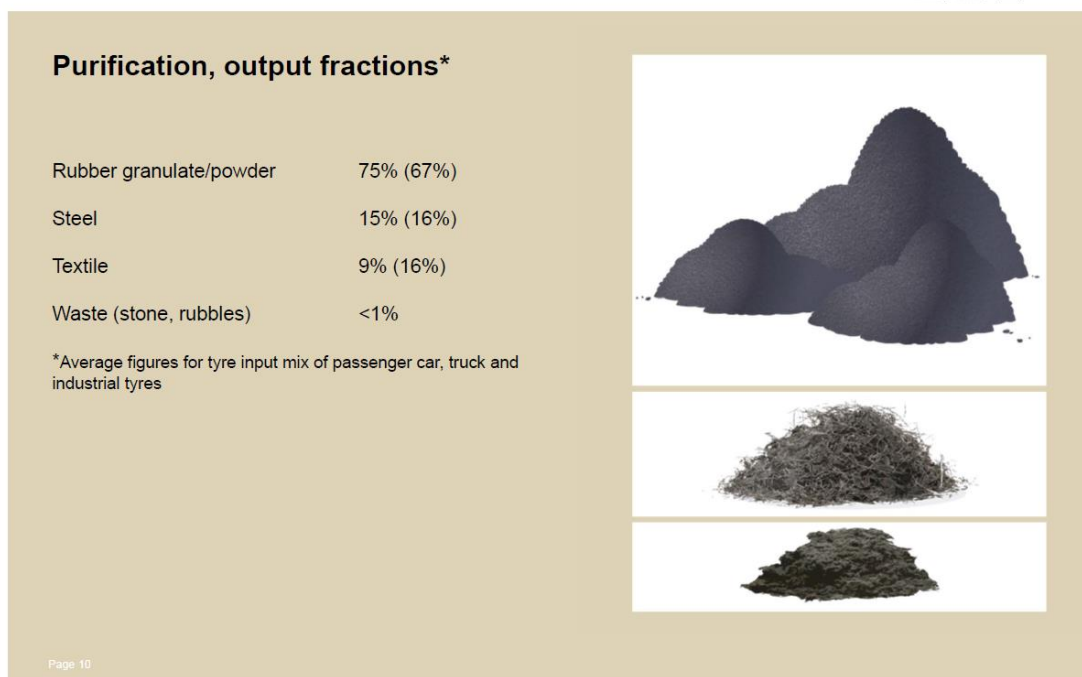
Käytöstä poistettujen renkaiden granulointi alkoi Euroopassa 1990, jolloin Genan Business & Development A/S aloitti niiden tuotannon Tanskan Viborgissa olevalla laitoksella. Laitoksen kapasiteetti on 70 000 tonnia vuodessa. Vuonna 2003 Genan avasi granulointilaitoksen Berliinin Oranienburgissa. Laitoksen kapasiteetti on 65 000 tonnia vuodessa. Vuonna 2008 Genan avasi Dorstenin laitoksen Saksassa. Sen kapasiteetti on 70 000 tonnia vuodessa. Viimeisimmän laitoksen Eurooppaan he avasivat Mindelheimiin Saksaan vuonna 2010. Tämän kapasiteetti on myös 70 000 tonnia vuodessa. Tämän jälkeen on avattu 100 000 tonnoinen laitos Teksasin Houstonissa. (Genan 2013.)

Toistaiseksi Genan on ainoa teollisen mittakaavan kumigranulaatin ja – jauheen valmistaja Euroopassa. Laitosten yhteenlaskettu kapasiteetti on 275 000 tonnia käytöstä poistettuja renkaita vuodessa. Vuonna 2012 käytöstä poistettuja renkaita kerättiin Tanskassa yhteensä 36 000 tonnia ja Saksassa vuonna 2013 noin 413 000 tonnia. Tanskan laitoksen kapasiteetti on noin kaksinkertainen Tanskasta kerättäviin renkaisiin nähden, joten loppukapasiteetti täytetään Pohjois-Saksan alueelta kerättävillä renkailla. Yhteenlasketuna Genan käsittelee laitoksissaan yli 61 % Tanskan ja Saksan käytöstä postetuista renkaista. (Genan 2013.)

Saatavat lopputuotteet (Ks. kuva 30) Genan jakaa neljään pääryhmään, jotka ovat

- kumituotteet 75 %
- teräs 15 %
- tekstiilit 9 %
- jäte < 1 %

Prosenttiluvut ovat keskimääräisiä ja ne on saatu autonrenkaista, kuorma-autonrenkaista ja teollisuusrenkaista tehdyn keskimääräisen seoksen käsittelystä.



Kuva 30. Renkaiden granuloinnissa saatavat lopputuotteet. (Genan 2013.)

5.5.4 Granulaattien ja jauheiden käyttö Euroopassa

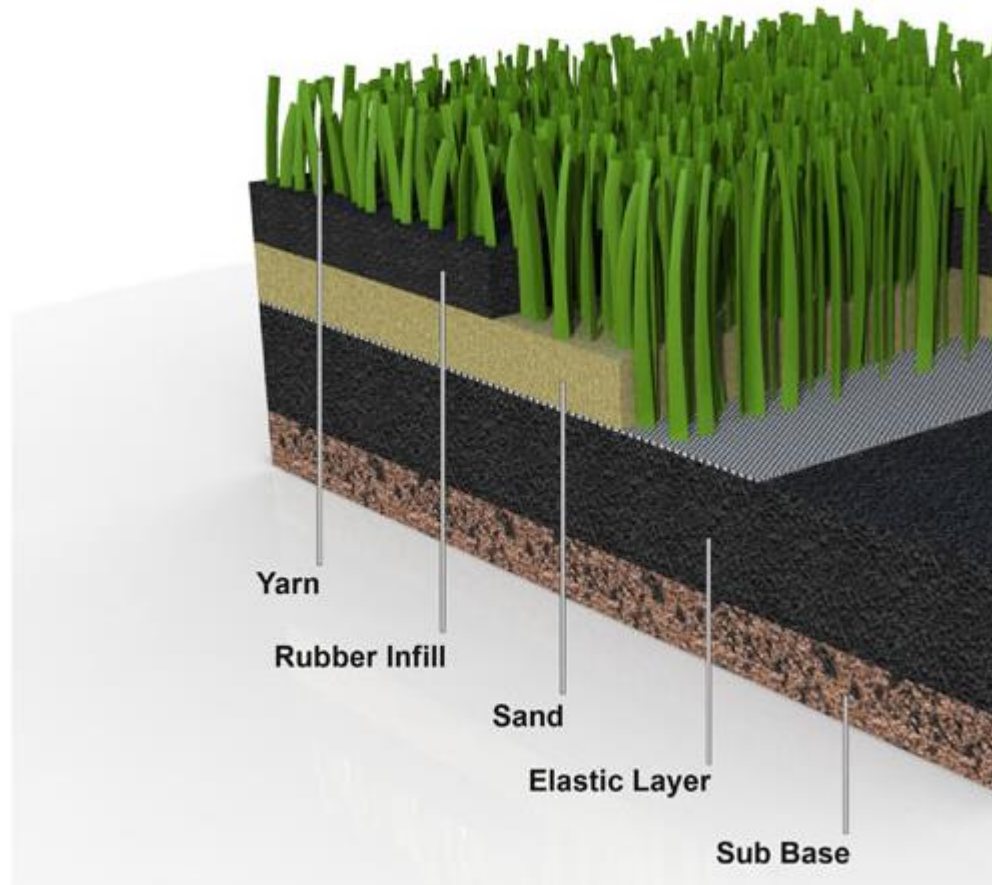
Yleisimpiä granulaattien ja jauheiden käyttökohteita ovat erilaiset urheilun suorituspaikat, leikkikenttärakenteet, asfaltin valmistus, uusien renkaiden ja kumituotteiden valmistus.

Tekonurmet

Tekonurmien pääasiallisia käyttökohteita ovat mm. jalkapallo- ja tenniskentät. Luonnonnurmiin verrattuina tekonurmien etuina ovat mm. tasaisempi rakenne, parempi kulutuksen kestävyys ja ne eivät ole alttiita säätilojen aiheuttamille muutoksille. Jalkapallon kansainväliset kattojärjestöt ovat hyväksyneet tekonurmikentät virallisiksi pelikentiksi. (Genan 2013.)

Kuvassa 31. on tyypillinen tekonurmen rakenne, jossa kumigranulaattia on käytetty kulumuspintana heti tekonurmen alla (Rubber Infill), sekä joustavuuden lisääjänä (Elastic Layer) hiekan ja pohjarakenteen välissä. (Genan 2013.)

Turf with elastic layer



Kuva 31. Läpileikkaus tyypillisestä tekonurmesta. (Genan 2013.)

Leikkikenttärakenteet

Leikkikenttärakenteissa kumigranulaattia käytetään yleensä sirotteena liimattuna asfaltin päälle, jolloin sen avulla voidaan tehdä pinnasta joustavampi ja pitävämpi. Leikkimisen yhteydessä tapahtuvat kaatumiset tuottavat pienempiä vahinkoja kuin kaatumiset suoraan asfalttipintaan. (Genan 2013.)

Urheilukentät

Juoksuradoilla ja urheilusuoritusten suorituspaikoilla kumigranulaattia käytetään pidon parantamiseksi ja joustavuuden lisäämiseksi. Juoksuradoilla radan kulutuspinna tehdään usein joustavuuden johdosta kokonaan kumigranulaatista ja se on yleensä noin 10 mm paksu. (Genan 2013.)

Asfaltin valmistus

Asfaltti on rakennusmateriaali, joka valmistetaan pääasiassa kiviaineksen, mineraaliyhdisteiden ja bitumin seoksesta. Asfaltin pääasiallinen käyttökohde on kulkuväylien ja liikennöintialueiden päällystämässä.

Asfaltin valmistuksessa kumigranulaattia käytetään kahdella eri tavalla. Kumigranulaatin avulla voidaan korvata osa asfaltin valmistuksessa käytettävästä bitumista eli sideaineesta. Toinen käyttömuoto on kumigranulaatin lisääminen itse asfalttimassaan, jolloin siitä saadaan joustavampi ja sitä kautta hiljaisempi. Suurin osa kumigranulaatista käytetään tällä hetkellä asfaltin valmistuksessa. (Genan 2013.)

Uusien renkaiden ja kumituotteiden valmistus

Kumigranulaatin avulla voidaan korvata osa renkaiden ja kumituotteiden valmistuksessa käytettävistä raaka-aineista. Vulkanoinnissa syntyneiden rikkisiltojen johdosta kokonaan kumigranulaatista valmistettujen kumituotteiden tuotanto on mahdollista vain erityistapauksissa. (Genan 2013.)

5.5.5 Renkaiden paalaaminen ja rengaspaalien käyttö

Kokonaiset renkaat voidaan myös sitoa paaleiksi teräslankojen avulla ja eräs käyttökohde näille rengaspaaleille on käyttö kevennysmateriaalina tienrakentamisessa tai meluvallissa korvaamaan neitseellisiä kiviaineksia. Liikenneviraston kevennysrakenteiden suunnitteluohjeessa on rengaspaalin pituudeksi määritetty 1,5 metriä, leveydeksi 1,4 metriä ja korkeudeksi 0,75 metriä. Yhden rengaspaalin tilavuudeksi on arvioitu 1,4 m³ ja sen tilavuuspainoksi

- kuivana 5,5 Kn/m³
- märkänä 5,7 Kn/m³
- veden alla 0,8 Kn/m³

Rengaspaalien ominaispaino veden alla on hyvin lähellä nollaa, mutta ne eivät kuitenkaan lähde kellumaan, joka helpottaa huomattavasti niiden käyttöä. (Salo 2011.)

Eräänä rengaspaalien ensimmäisenä koekäyttökohteena on ollut Tampereen Läntinen kehätie, jossa rengaspaaleja käytettiin Rajaniemen eritasoliittymän savipohjaisen rampin penkereeseen syksyllä 2004. Paaleja käytettiin 130 metrin matkalle 560 kappaletta, eli 517 tonnia. Tuolloin arvioitiin paalauksessa käytettyjen teräslankojen kestävän katkeamatta 30 vuotta. Kuvassa 32 näkyy rengaspaalien ladontatapa. (Sjöberg 2005.)



Kuva 32. Rengaspaalien käyttö Rajaniemen eritasoliittymässä. (Sjöberg 2005.)

Rengaspaaleista voidaan tehdä lähes pystysuoria rakenteita, joten niitä on työn tekijän tietojen mukaan myös kokeiltu kaatopaikkarakentamisessa kaatopaikkojen sisään jäävien väliseinien materiaalina.

5.5.6 Renkaiden uudelleen pinnoittaminen

Käytössä renkaan kulutuspinna kuluu suhteessa ajettuihin kilometreihin, mutta myös ajoneuvo, sen kuormaus, ajotapa, ajettavat tiet ja ajo-olosuhteet vaikuttavat renkaan kulumiseen. Renkaan turvallinen käyttöikä päättyy yleensä siihen, että renkaan kulutuspinna ei enää täytä lain asettamia vaatimuksia, joka esimerkiksi henkilö- ja pakettiautojen kesärenkailla on 1,6 mm urasyvyys. Renkaan käyttö voi myös päättyä renkaan rikkoutumiseen, jolloin se ei yleensä enää kelpaa pinnoitukseen.

Periaatteessa kaikki riittävän aikaisin käytöstä poistetut, loppuun kuluneet renkaat voidaan pinnoittaa, mikäli niiden runkorakenteet eivät ole vaurioituneet. Renkaan pinnoituskustannus on noin 60 % vastaavien uusien renkaiden hinnasta. Rungon laadusta ja ajo-olosuhteista riippuen samaa runkoa voidaan pinnoittaa yhden tai useamman kerran. Suomessa kuorma-autojen renkaita pinnoitetaan keskimäärin 2,5 kertaa. (Suomen Euromaster Oy 2015.)

Vuosina 1996 – 2000 pinnoitukseen meni kaikkiaan 8 183 tonnia renkaita, joka oli 6,4 % niinä vuosina vastaanotetuista renkaista (127 508 t). Vuosina 2008 – 2012 pinnoitukseen meni enää 2 142 tonnia renkaita, joka on vain 0,9 % samoina vuosina vastaanotetuista renkaista (227 833 t). Luvuissa on pientä ”tilastoharhaa”, koska pieni osa pinnoitukseen menevistä renkaista on edellisen vuoden kertymää. Tämä virhe on niin pieni, ettei sillä ole käytännön merkitystä, eikä sen avulla voi edes osittainkaan selittää pinnoituksessa tapahtunutta huomattavaa pudotusta. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2014.)

Suurin pinnoituksen laskua selittävä tekijä on ns. halpatuontirenkaiden tulo markkinoille. Nämä pääasiassa Kaukoidän alhaisen työvoimakustannusten maissa tuotetut renkaat ovat hinnaltaan niin edullisia, ettei pinnoitetun renkaan osto juurikaan tuo kustannussäästöä renkaan käyttäjälle. Autojen rengaskoot ovat myös kasvaneet koko ajan, joka myös vähentää pinnoitettujen renkaiden kysyntää.

Matin Rengas – niminen rengasliike tarjoaa pinnoitettua rengasta hintaan 65 €/kpl (Helsingin Sanomat 2015), kun samana päivänä Rengas - Onlinen kotisivuilla oli tarjolla samaa kokoa oleva Hankook Ventus S1 evo K107 – rengas hintaan 72,90. Hankook ei ollut edes halvin uusi rengas, mutta se on otettu vertailurenkaaksi, koska merkki on yksi yleisemmistä. Kahden esimerkkirenkaan kohdalla yhden rengassarjan (4 rengasta) hintaero pinnoitetun ja uuden renkaan välillä oli vain 31,60 euroa pinnoitettujen renkaiden eduksi. Koska hintaero on näin pieni, niin kuluttaja voi hyvinkin päätyä valitsemaan pinnoitetun renkaan sijasta täysin uuden.

Kuorma- ja linja-autojen renkaat ovat pysyneet kooltaan lähes muuttumattomina, jolloin käytöstä poistuvalla hyvälle rengasrungolla on olemassa kysyntää. Ammattiliikenteessä ajetaan paljon, jolloin renkaatkin kuluvat nopeasti. Tällöin sinänsä pienilläkin säästöillä on suuri merkitys tiukasti kilpailluilla kuljetusmarkkinoilla.

Suomessa käytettyjen renkaiden kierrätys ja niiden hyötykäyttö on kokonaisuutena hyvin toimiva. Poikkeuksena on pinnoitukseen päätyvien renkaiden vähäinen määrä.

5.6 Materiaalisen hyödyntämisen taloudelliset linjaukset

5.6.1 Yleiset näkemykset

Tärkein asia kierrätettyjen renkaiden materiaaliseen hyödyntämiselle tulevaisuudessa Suomessa on päätös biohajoavan jätteen kaatopaikkakiellosta ja sen vaikutuksesta renkasjätteeseen. Lisääntyvät vaatimukset jätehierarkian mukaiseen eri materiaalien hyödyntämiseen jätehierarkian vaatimalla tavalla vaikuttavat myös kierrätyksen taloudellisuuteen. Voidaan todeta, että käytännössä uudet kierrätettyjen renkaiden tulevaisuuden käyttömuodot ovat olemassa olevien tietojen perusteella nykyisiä kierrätysmuotoja kalliimpia. Tosin ne ovat huomattavasti ympäristöystävällisempiä ja kestävän kehityksen periaatteiden mukaisia.

Nykyinen raakaöljyn alhainen hinta ei tue pyrolyysiöljyn hyödyntämistä. Tällä hetkellä julkisuudessa olevien tietojen perusteella raakaöljyn hinnan oletetaan pysyttelevän nykyisellä alhaisella tasolla vielä pitkään. Mitä pitemmälle kierrätettyjä renkaita jalostetaan, niin sitä tärkeämmäksi muodostuu jalostuksella saatavien uusioraaka-aineiden hinta.

Käytännössä kaikki uudet kierrätettyjen renkaiden käyttömuodot vaativat nykyistä pidemmälle vietyä jalostamista ja jo nykyisinkin käytössä olevat tuotantovaiheet, kuten keräily ja renkaiden kokoaminen käyttökohteisiin säilyvät nykyisellään. Uusissa käyttömuodoissa kumimateriaalin partikkelikoon täytyy olla nykyistä pienempi, mikä vaatii leikkaamista pienempään kokoon. Tämä nostaa kierrätetyn kumimateriaalin tonnikohtaisia käsittelykustannuksia.

5.6.2 Renkaiden kierrätysmaksu

Nykyisillä kierrätetyistä renkaista saatavien lopputuotteiden myyntihinnoilla pystytään parhaimmillaan kattamaan tuotantokustannukset ja laitosinvestointien vaatimat kuoledukset sekä tuottamaan mahdollisesti myös pieni kate. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ollakseen taloudellisesti kannattavia laitosten on saatava kumimateriaalia periaatteessa täysin ilmaiseksi. Keräilyn ja kuljetusten aiheuttamat kustannukset täytyy saada katettua muulla tavoin ja Suomessa tuo tapa on uusien renkaiden oston yhteydessä perittävä kierrätysmaksu. Kierrätysmaksun voidaan olettaa säilyvän noin nykyisellä tasolla myös tulevaisuudessa, koska kierrätetyistä renkaista saatavien lopputuotteiden hintojen nousu tulee olemaan samaa tasoa yleisen kustannustason nousun kanssa.

Suomessa peritään nykyisin uusien renkaiden oston yhteydessä kierrätysmaksua henkilö- ja pakettiauton renkaista 2,17 €/kpl sekä kuorma- ja linja-auton renkaista 10,60 €/kpl. Molemmat hinnat sisältävät arvonlisäveron, joka on tällä hetkellä 24 %. Perittävä kierrätysmaksu on vain pieni osa uuden renkaan hinnasta, joten kierrätysmaksun alenemiseen ei juurikaan ole ollut painetta kuluttajien tai yhteiskunnan suunnalta. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015.)

Toisaalta pienikin alennus renkaiden kierrätysmaksuun olisi renkaiden tuottajien ja Suomen Rengaskierrätys Oy:n imagon kannalta positiivinen asia samaan aikaan, kun kaikki muut kustannukset nousevat.

5.6.3 Jatkojalostuksen taloudellisuus

Lukuisista yrityksistä huolimatta renkaiden pyrolyysiä ei ole saatu toimimaan taloudellisesti kannattavasti, vaikka sitä on yritetty erikokoisilla laitoksilla useissa maissa. Pyrolyysi prosessina on teknisesti sinänsä suhteellisen selkeä toteuttaa. Ongelmat johtuvatkin enemmän pyrolyysiin ohjattavan rengasmateriaalin epähomogeenisuudesta. Rengaskumimateriaali on usein epähomogeenista ja rengas koostuu useista eri raaka-aineista, joten prosessin ohjaaminen käytännössä on todella vaikeaa.

Nykyisin taloudellisesti suhteellisen hyvin kannattavia kierrätettyjen renkaiden materiaalisia hyödyntämismuotoja ovat

- kokonaisten renkaiden ja rengaspaalien käyttö
- erikokoisten rengasrouheiden käyttö
- rengasgranulaattien ja – jauheiden tuotanto

Kaikki ne perustuvat käytännössä samaan asiaan, eli kumimateriaali säilyy kumina läpi koko prosessin. Ainostaan rengasgranulaattien ja – jauheiden tuotannon yhteydessä saadaan taloudellisesti merkittäviä määriä muita hyödynnettäviä uusioraaka-aineita kuten esimerkiksi terästä. Tuotannosta saatava teräs on hyvin haluttua raaka-ainetta terästeollisuudessa ja sen käytöllä voidaan suoraan korvata rautamalmin käyttöä. Granulaattien ja jauheiden tuotannon yhteydessä saataville tekstiileille ei tällä hetkellä ole muuta merkittävää käyttökohdetta kuin niiden polttaminen energiaksi.

5.7 Rengaskumijätteen käyttö ja siihen vaikuttavat tekijät

5.7.1 EU:n jätehierarkia kiertotalouden näkökulmasta

Jätehierarkian osat ja tavoitteet esitettiin jo työn johdannossa (Kuva 1). Jätehierarkia on sellaisenaan implementoitava kansalliseen lainsäädäntöön. Tutkittaessa rengaskumijätteen hajotustekniikoihin vaikuttavia yhteiskunnallisia tekijöitä täytyy muistaa, että suurin osa jätehierarkian mukaisista ensisijaisista vaihtoehdoista kuten kierrätettyjen renkaiden materiaali hyötykäyttö on jo jäänyt toteutumatta.

EU:n kiertotaloutta koskeva tiedonanto on suunnattu pääasiassa yhdyskuntajätteen ja pakkausjätteen kierrätykseen. Tästä huolimatta sillä voi ainakin olettaa ainakin kiertotalouden tavoitteiden perusteella olevan myös epäsuoria vaikutuksia rengaskumijätteen kierrätykseen.

Kiertotaloudessa tavoitellaan suljettua materiaalikiertoa, jolloin kaikki tarvittava raaka-aine saadaan kierrätetyistä materiaaleista. Tavoitehan on käytännössä täysin teoreettinen ja jo pelkästään materiaalien käytön kasvun johdosta tuotantoon täytyy tuoda myös neitseellisiä raaka-aineita. Energiantuotannossa ei koskaan päästä 100 % hyötysuhteeseen erilaisten tuotantoon liittyvien hävikkien vuoksi. Kuitenkin kiertotalouspaketti kertoo sen suunnan, johon Euroopan komissio haluaa materiaalikierrätyksen menevän tulevaisuudessa.

Rengaskumijätteen osalta kiertotalouden pyrkimysten voidaan katsoa lisäävän vaatimuksia kehittää renkaiden materiaalihyötykäyttöä. Tällöin jätteen loppusijoituspaikkoja ei enää tarvita nykyisessä laajuudessa. Kierrätysmateriaaleista suunnitellut ja toteutetut kaatopaikkarakenteet voivat myös olla suositeltavia, jos ne ovat ympäristöllisesti haitattomia ja niillä voidaan korvata luonnonvaroja kuten neitseellistä kiviainesta. Kiertotalouden keskeisenä tavoitteena on kuitenkin joka tapauksessa jätteiden loppusijoittamisen vähentäminen (tai jopa lopettaminen), joten kaatopaikkarakentaminen kokonaisuudessaan tulee vähentymään hyvin oleellisesti. (Pantsar 2015.)

5.7.2 Renkaiden uudelleen pinnoittaminen

Renkaiden uudelleen pinnoitus täyttää parhaiten jätehierarkian ja kiertotalouden vaatimukset.

Renkaiden pinnoittajat saavat ottaa pinnoitettavat renkaat ilmaiseksi Suomen Rengaskierrätyksen omistamista käytöstä poistetuista renkaista. Pinnoituksessa käytettävä raaka-aine on ilmaista, joten pinnoitusta edistävät yhteiskunnalliset tekijät voivat liittyä vain itse pinnoitustapahtumaan ja pinnoitettujen renkaiden myyntiin. Nykyisin pinnoitettuja renkaita käytetään liian vähän. Yhteiskunta voisi edistää pinnoitettujen renkaiden käyttöä esimerkiksi niihin kohdistuvilla verohelpotuksilla tai tukemalla pinnoitus-toimintaa suorilla avustuksilla. Em. keinojen katsotaan kuitenkin olevan vastoin Euroopan Unionin perusajatuksia ja vääristävän kilpailua, joten ne eivät ole käytännössä mahdollisia. Ainoa asia, joka voi käytännössä parantaa pinnoitettujen renkaiden kysyntää on kuluttajien käyttäytymisen muuttumien myös renkaiden uusiokäyttöä suosivaksi.

5.7.3 Rengaskumijätteiden käyttö energian tuotannossa

Energiaa tarvitaan nyt ja tulevaisuudessa, joten rengaskumijätteen polttoa voidaan perustella sillä, että samalla säästetään muita helpommin kierrätettäviä/uusiokäytettäviä materiaaleja kuten esimerkiksi puujätettä. Vaikeiden eli kompleksisten materiaalien kuten jättekumin poltto energiaksi on kuluttajien helpommin hyväksyttävissä.

Hyvän lämpöarvonsa johdosta kierrätetty rengaskumimateriaali on otollinen polttoaine, ellei käytetyille renkailla löydy muuta toimivaa ja taloudellisesti kannattavaa uusiokäyttömuotoa. Poltto ei täytä kiertotalouden tavoitteita, mutta eräissä tapauksissa energian tuotanto rengaskumia polttaen on perusteltua. Polton merkityksestä on esitetty lisätietoja myöhemmin (ks. luku 5.10).

Jätteiden loppusijoituksen korvaajiksi on Suomeen viime vuosina noussut myös huomattavan paljon jätevoimaloita, joista yksi suurimmista on vuonna 2015 toimintansa aloittanut Vantaan Energian jätevoimala. Jätevoimala tuottaa vuodessa 920 gigawattituntia (GWh) kaukolämpöä ja 600 GWh sähköä. Määrä vastaa noin puolta Vantaan tarvitsemasta kaukolämmöstä ja noin 30 prosenttia Vantaan vuotuisesta sähköntarpeesta. (Vantaan Energia 2015.)

Jätevoimalan käyttöönotto vähentää Vantaan Energian fossiilisten polttoaineiden käyttöä energiantuotannossa noin 30 %, ja yhtiön hiilidioksidipäästöt Vantaalla vähenevät noin 20 % vuodessa. Voimala tehostaa sekajätteen hyötykäyttöä, kun vuotuinen 320 000 tonnin sekajättemäärä ei enää päädy kaatopaikoille. Jätteiden parantuva lajittelu tulee muuttamaan jätepolttoaineen koostumusta polton kannalta huonompaan suuntaan, jolloin hyvän lämpöarvon omaavaa rengasrouhetta saatetaan tarvita ns. tukipolttoaineeksi. (Vantaan Energia 2015.)

5.8 Hyödyntämisen keskeiset ympäristövaikutukset

Rengaskumijätteen ympäristövaikutukset voidaan jakaa lopputuotteiden käytön perusteella kolmeen pääluokkaan, jotka ovat

- kokonaisten renkaiden, rengaspaalien ja rengasrouheiden käytön ympäristövaikutukset maanrakennuksessa
- renkaiden ja rengasrouheiden polton ympäristövaikutukset
- granulaattien, jauheiden ja renkaiden pyrolyysin ympäristövaikutukset

Muitakin ympäristövaikutuksia esim. maaperäpäästöjä sekä vaikutuksia ilmakehään voi periaatteessa esiintyä tapauskohtaisesti (vrt. esim. kaatopaikat), mutta näitä ei ole laajemmin tässä työssä käsitelty.

5.8.1 Maanrakennuksen ympäristövaikutukset

Maanrakennuksessa käytöstä poistettuja renkaita, niistä valmistettuja rengaspaaleja sekä rouheita käytetään siten, että ne jäävät lopullisen rakenteen sisään. Tutkimuksissa on havaittu rengasrouheiden käyttökohteiden osalta mangaanin, raudan, sinkin ja kuparin pitoisuuksien kohoamista, joka johtuu metallien liukenemisesta teräslangoista. Kokonaisissa renkaissa ja rengaspaaleissa nuo teräslangat ovat kumimateriaalin sisällä, joten niiden osalta haittavaikutusten täytyy olla huomattavasti rengasrouheita vähäisempiä. (Aurinko 2012.)

Humphrey ja Swett (2006) ovat tehneet laajan kirjallisuustarkastelun rengasrouheen ympäristövaikutuksista pohjaveteen ja Suomessa on tutkittu rengasrouheen vaikutusta pohjavesiin 1997 – 1999 koekohteessa valtatie 7:llä. Molempien tutkimusten tulokset ovat samansuuntaisia, joissa tutkimuksissa mitattujen pitoisuuksien kasvu ei ole ollut merkittävää esimerkiksi taustapitoisuuksiin verrattuna ja pitoisuudet eivät ylittäneet ihmisen terveydelle haitallista tasoa missään vaiheessa. Lyijyn ja raudan pitoisuudet ylittävät eräissä tapauksissa hyvälle talousvedelle asetetut vaatimukset. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000 määrää talousveden laatuvaatimuksissa lyijyn maksimipitoisuudeksi 10 µg/l ja raudan 200 µg/l.

Lähteen (Humphrey ja Swett, 2006) mukaan pitoisuuksien kasvu alenee ajan funktiona, koska teräslangoissa on vain rajallinen määrä metalleja ja tästä syystä pitkällä aikavälillä niiden merkitys on erittäin vähäinen tai merkityksetön ympäristön kannalta. Vähäisestä haitta-aineiden liukenemisesta huolimatta rengasrouheiden käyttö on kielletty pohjavesialueilla. (Aurinko 2012.)

5.8.2 Polton ympäristövaikutukset

Kokonaisia renkaita ei juurikaan polteta hallitusti sellaisenaan, koska rengasrouheiden avulla saadaan paremmin hallittua niiden syöttömääriä ja rengasrouheen syöttö pystytään toteuttamaan teknisesti helpommin kuin kokonaisten renkaiden. Jätevoimaloita lukuun ottamatta kokonaisten renkaiden polttaminen ei yleensä ole edes mahdollista johtuen niiden suuresta koosta. Jätevoimaloissa rengasrouheita käytetään yleensä tukipolttoaineina, jolloin niiden polton ympäristövaikutukset ovat osa pääpolttoaineiden aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Jätevoimaloiden polttoaine sekoitus erialisia jätelajeita, joiden joukossa voi olla myös kumimateriaalia, joten rengasrouheen poltto ei suoranaisesti muuta syntyviä päästöjä. Sama periaate toteutuu myös muissa voimaloissa, kuten yhdistetyissä sähkö- ja lämpövoimaloissa.

Voimalatyypistä riippumatta niiden aiheuttamilla päästöille on määritelty ympäristöluvissa maksimi arvot, joita ei saa ylittää. Käytettävä polttoaine on hyvin usein useamman materiaalin muodostama seos, riippuen tarjolla olevista poltettavista materiaaleista ja niiden kulloisestakin hinnasta. Koska savukaasuille on määritelty raja-arvot, joiden saavuttamiseksi savukaasut joudutaan puhdistamaan, niin renkaiden poltto ei vaikuta puhdistettujen savukaasujen pitoisuuksiin, mikäli päästöt pystytään hallitsemaan raja-arvojen mukaisesti. (Ympäristölupapäätös Drno UUS-2009-4-207-11.)

Savukaasujen lisäksi voimaloista tulee erilaisia tuhkia, joiden kelpoisuutta lannoitekäyttöön selvitetiin Eviran toimesta vuonna 2007. Tutkimuksen mukaan ainoastaan puhdistusta puuta, turvetta tai energiakasveja raaka-aineena käyttävien voimalaitosten tuhkat on mahdollista luovuttaa lannoitteeksi tai lannoitetuotantoon. Muiden voimalaitosten tuhkien käytölle on haettava ympäristölupa. Voimalaitoksissa poltettava rengasmateriaali ei vaikuta niiden tuhkien käyttöön, koska rengasmateriaalissa oleva teräs saadaan voimalaitoksissa talteen tuhkista muiden metallien mukana. (Evira 2008.)

Rengasrouheiden poltto sementtiuuneissa poikkeaa muista polttotavoista syntyvien tuhkien osalta. Sementtiuuneissa palamisolosuhteet ovat niin ankaria, että renkaiden epäorgaaninen osa sitoutuu sulamisprosessin kautta klinkkeriin. Tällöin varsinaista tuhkaa ei muodostu ollenkaan. Sementtiuunien savukaasut joudutaan myös puhdistamaan, joten renkaiden poltto sementtiuuneissa ei lisää ympäristövaikutuksia. Klinkkeriin sitoutuneet epäorgaaniset aineet tulevat hyödynnettäviksi klinkkerissä, niin renkaiden polttoa sementtiuuneissa voidaan pitää ympäristön kannalta parempana vaihtoehtona kuin niiden polttoa voimalaitoksissa. (Ranta 2002.)

Taulukossa (ks. liite 2.) on renkaiden keräysvolyymit Euroopassa vuonna 2013 ja niiden käyttö. Taulukon mukaan käytöstä poistettuja renkaita kerättiin yhteensä 1 900 194 tonnia ja niistä poltettiin sementtiuuneissa 880 262 tonnia, joka n. 42 % koko määrästä. Rengasrouheella korvataan sementtiuuneissa pääasiassa kivihiiltä, joten lämpöarvojen perusteella sitä tarvittaisiin noin 1,5-kertainen määrä. (ETRMA 2014.)

Koska suoranaisia ympäristövaikutuksia rengasrouheen poltosta sementtiuuneissa ei synny ja rengasrouheella pystytään korvaamaan kivihiilen polttoa, niin rengasrouheiden polttoa sementtiuuneissa voidaan pitää ympäristön kannalta kokonaisuutena hyvänä ratkaisuna. (Ranta 2002.)

5.8.3 Tuotannon ja jalostuksen ympäristövaikutukset

Granulaattien ja jauheiden tuotanto, sekä pyrolyysi tapahtuvat laitoksissa, joten niiden aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat hyvin hallittavissa. Granulaattien ja jauheiden käytön aiheuttamia ympäristövaikutuksia voidaan verrata aikaisemmin olleeseen rengasrouheiden ympäristövaikutuksiin. Granulaatit ja jauheet vastaavat muuten rengasrouhetta, mutta niistä on prosessin yhteydessä poistettu teräslangat. Rengasrouhetta käytettäessä tutkimuksissa on havaittu metallipitoisuuksien nousua teräslankojen liukeneemisesta johtuen ja koska teräslangat poistetaan granulointiprosessissa, niin niiden vaikutuskin poistuu. Em. johdosta voidaankin olettaa, että tuotettujen kumimateriaalien aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat niin pieniä, ettei niillä ole käytännössä merkitystä. (Genan 2013.)

Pyrolyysin ympäristövaikutuksista merkittävimmät liittyvät pyrolyysiprosessista saataviin tuotteisiin, joista pyrolyysikaasu on haastavin johtuen sen myrkyllisyydestä ja sytymisherkkyydestä. Myös hiilimustassa on raskasmetalleja ja PAH – yhdisteitä. Käytännössä nämä ympäristövaikutukset kuitenkin tarkoittavat työturvallisuuteen liittyviä asioita. Pyrolyysillä saatavat lopputuotteet täytyy jalostaa prosessin yhteydessä niin pitkälle, että niiden jatkokäsittely turvallisesti on mahdollista. Pyrolyysilaitoksen toiminta ja sen aiheuttamat päästöt täytyy pystyä hallitsemaan siten, että ne täyttävät laitokselle asetetut määräykset päästöjen suhteen; eli pyrolyysilaitoksesta ei synny muita vastaavia laitoksia suurempia ympäristövaikutuksia kuin muistakaan vastaavista. (Nurmi ym. 2014.)

5.9 Yhteenveto renkaiden hyötykäyttökohteiden analyysistä

Hyötykäyttöä koskevat tärkeimmät tulokset luvuista 5.2 – 5.8 on koottu seuraavaan luetteloon:

- Yksikään uusista hyödyntämismuodoista, kuten pyrolyysi ja devulkanointi eivät ole nykyisellään vielä kehittyneet tekniikoiksi, joita voitaisiin hyödyntää teollisessa mittakaavassa. Tekniikan mahdollisesti kehittyessä tulevaisuudessa ne voivat olla hyvinkin varteenotettavia
- Tehtyjen tutkimusten perusteella devulkanointi tulee jäämään lähinnä teoreettiseksi vaihtoehdoksi johtuen sen hitaudesta, kalleudesta ja siitä saatavien lopputuotteiden käytön haasteista
- Pyrolyysista saataville lopputuotteilla kuten pyrolyysiöljyllä ja hiilimustalla on suhteellisen paljon jatkokäyttökysyntää ja niiden avulla voidaan korvata neitseellisiä raaka-aineita
- Mikäli itse pyrolyysiprosessiin liittyvät haasteet esim. epähomogeenisen jättekumimateriaalin osalta saadaan kehitettyä paremmiksi, niin pyrolyysistä voi tulla tulevaisuudessa käytettyjen renkaiden potentiaalinen hyötykäyttöprosessi muoto
- Kokonaisille renkaille, rengasrouheille ja -paaleille on aina käyttöä kiviainesten korvaajana maanrakennuskohteissa, mutta tällöin menetetään kumimateriaalin sisältämä energia

- Rengasrouheen käyttö ravinnerikkaiden jätevesien suodatuksessa tulee todennäköisesti olemaan yksi tulevaisuuden käyttömuodoista, mutta siihen tarvittava kumimateriaali on kuitenkin volyymiltään hyvin pieni, joten menetelmä ei ratkaise renkaiden hyödyntämiskysymystä
- Kumigranulaatin tuotanto on saatu toimimaan myös teollisessa mittakaavassa ja siitä saataville lopputuotteille on markkinoita, joten granulointi tulee olemaan myös tulevaisuudessa yksi tärkeimmistä kierrätettyjen renkaiden hyötykäyttömuodoista
- Jätehierarkian ja kiertotalouden vaatimuksiin parhaiten vastaava hyötykäyttömahdollisuus on renkaiden pinnoittaminen, joten sen osuuden tulisikin kasvaa tulevaisuudessa
- Uudelleen pinnoitettujen renkaiden kysynnän kasvaminen edellyttää niiden hintakilpailukyvyyn parantumista ja ennen kaikkea kuluttajien asenteiden muuttumista niitä suosivaksi. Kasvava ympäristötietoisuus ja huoli tulevaisuudesta muokkaavat tällä hetkellä voimakkaasti kuluttajien asenteita kierrätyksestä ja uusiokäyttöä kohtaan ja tästä asenteiden muutoksesta hyöttyy muiden mukana myös renkaiden uudelleen pinnoitus. Muutosta voidaan niin haluttaessa nopeuttaa ja edesauttaa yhteiskunnallisilla toimenpiteillä, joita tulisi käyttöä edistävän tuen osalta kehittää

6 TULEVAISUUSLINJAUSTEN SUUNNITTELUA KOSKEVAT TULOKSET

6.1 Käytöstä poistettujen renkaiden määrä

Hyvin oleellinen osa tarkastelua on arvioida sitä, mitkä käyttömuodot ovat realistisia huomioiden Suomessa kerättävät rengasvolyymit. Taulukon 3. mukaan Suomessa kerättiin käytöstä poistettuja renkaita 2013 – 14 yhteensä 99 917 tonnia, eli viimeisen kahden vuoden käytöstä poistettujen renkaiden keräysvolyymi on ollut lähes 50 000 tonnia vuodessa.

Kerätyistä renkaista uudelleen pinnoitukseen päätyi vuonna 2014 yhteensä 923 tonnia ja muuhun hyötykäyttöön 4 013 tonnia. Muu hyötykäyttö tarkoittaa räjäytysmattojen valmistusta ja kokeiluja rengasrouheen käytöstä biosuodatuksen materiaalina. Energian tuotantoon kierrätettyjä renkaita meni 9 141 tonnia vuonna 2014 ja käytännössä koko määrä poltettiin Finnsementin Paraisten sementtitehtaalla. Tällä hetkellä ainoa uusi tiedossa oleva hyödyntämistapa Suomessa on jo aikaisemmin mainittu Oulun Energian pyrolyysilaitos. Laitos on vielä suunnitteluvaiheessa, eikä esimerkiksi ympäristölupahakemusta ole vielä jätetty. (Tuominen 2015.)

6.2 Rengasmäärät tulevaisuuden eri käyttötarkoituksissa

Seuraavaan taulukkoon 7. on koottu eri käyttövaihtoehtoihin arvioperusteisesti kuuluvat rengasmäärät. Jokainen vaihtoehto (VA1-VA3) on oma skenaarionsa. Kaikki vaihtoehdot perustuvat siihen, että kierrätykseen päätyy vuositasolla käytöstä poistettuja renkaita 50 000 tonnia (ks. taulukko 3). (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015.)

Taulukko 7. Kierrätettyjen renkaiden arvoidut käyttömäärät tulevaisuudessa. Vuoden 2014 luvut ovat taulukosta 3 (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015.) ja tulevaisuudessa luvut ovat kirjoittajan oma näkemys asiasta.

| <u>Kokonaisvolyymi (tn/v)</u> | VUONNA 2014 | TULEVAISUUDESSA | | |
|--------------------------------------|--------------------|------------------------|---------------|---------------|
| | | VA 1 | VA 2 | VA 3 |
| | 49 805 | 50 000 | 50 000 | 50 000 |
| PINNOITUS | 923 | 1 000 | 1 000 | 1 000 |
| MUU HYÖTYKÄYTTÖ | 4 013 | 4 000 | 4 000 | 4 000 |
| ENERGIAHYÖTYKÄYTTÖ | 9 141 | 9 000 | 9 000 | 9 000 |
| VIENTI | 272 | | | |
| MATERIAALIHYÖTÖKÄYTTÖ | 33 943 | 4 000 | 4 000 | 4 000 |
| VARASTOJEN MUUTOS | 1 513 | | | |
| OULUN ENERGIA, vaihe 1 | | | 8 000 | 8 000 |
| OULUN ENERGIA, vaihe 2 | | | | 8 000 |
| VAPAA KAPASITEETTI | | 32 000 | 24 000 | 16 000 |
| | 49 805 | 50 000 | 50 000 | 50 000 |

Taulukossa 7 pinnoitukseen kuuluvat ne käytöstä poistetut renkaat, jotka päätyvät uudelleen pinnoitettavaksi. Muu hyötykäyttö tarkoittaa räjäytysmattojen valmistukseen ja biosuodatuksen materiaaliksi päätyviä renkaita. Energiahyötykäyttö kuuluu rengaskumin polttaminen. Materiaaliseen hyötykäyttöön kuuluu mm. maanrakennuksen sovellukset. Varastojen muutos tarkoittaa prosessointia odottavien renkaiden määrän muutosta.

Taulukon 7 luvuista vuotta 2014 koskevat luvut on saatu taulukosta 3. Linjausvaihtoehdot sekä teknisesti potentiaalisimmat skenaariovaihtoehdot DI-työn tekijä on arvioinut oman kokemuksensa ja asiantuntijakeskusteluiden (Tuominen 2015.) perusteella. Tällöin luvussa 5 esitettyjen tulosten tulkintaan ja sitä koskevaan pohdintaan ovat vaikuttaneet painotetusti myös tekijän omat näkemykset asiassa.

6.3 Tulevaisuuden hyödyntämistapoihin vaikuttavat seikat

Aikaisemmin työssä esitettyjen lähteiden perusteella tuli esille seuraavia yleisiä näkemyksiä, jotka voivat keskeisesti vaikuttaa käytöstä poistettujen renkaiden hyödyntämisen tulevaisuuslinjauksiin. Näitä ovat mm. seuraavat:

- Renkaille asettavien vaatimusten kasvu taloudellisuuden, kulutuskestävyyden ja ajettavuuden osalta vaikeuttavat uudelleen pinnoitettujen renkaiden käytön lisääntymistä yhdessä hintatekijöiden kanssa
- Uudelleen pinnoitetusta renkaasta ei todennäköisesti koskaan saada yhtä hyvää kokonaisuutta kuin uudesta renkaasta
- Uusi rengas voidaan rakentaa alusta lähtien halutun kaltaiseksi, kun taas uudelleen pinnoitetussa renkaassa uusi kulutuspinna liitetään jo olemassa olevaan rengasrunkoon
- Renkaiden uudelleen pinnoitus tulee olemaan myös tulevaisuudessa vain pieni osa käytöstä poistettujen renkaiden uusiokäytöstä.

- Devulkanointia ei ole vielä pystytty toteuttamaan kannattavasti muutoin kuin laboratorio-olosuhteissa
- Pyrolyysiä ei ole saatu toimimaan kannattavasti
- Nippon Steelillä Japanissa jalostuslaitos on integroitu terästehtaaseen, joten erilisiä toimivia ja taloudellisesti kannattavia pyrolyysilaitoksia ei ole tällä hetkellä tiedossa ainoatakaan
- Lopputuotteiden heikon hinnan johdosta kumimateriaalin kemiallinen hajottaminen vaatii huomattavasti kehittämistä ja kenties jopa uusien menetelmien kehittämistä, jotta siitä tulisi potentiaalinen rengaskumimateriaalin kierrätystapa
- Otolaisin hyötykäyttökohde on renkaiden materiaali- ja energiahyötykäyttö, etenkin kumimateriaalin hyötykäyttö

Kumimateriaalin hyötykäyttö täyttää sekä jätehierarkian ja kiertotalouden asettamat vaatimukset materiaali- ja energiahyötykäyttöä paremmin, joten sen voidaankin perustellusti olettaa olevan tulevaisuuden suurin käytöstä poistettujen renkaiden käyttömuoto.

Ympäristöasioiden yhteydessä lähes poikkeuksetta unohdetaan työllisyyteen vaikuttavat asiat. Käytöstä poistettujen renkaiden kierrätys ja uusiokäyttö työllistävät vain vähäisen määrän työntekijöitä ja niistäkin huomattava osa työskentelee rengaslogistiikan parissa. Uusista renkaista vain pieni osa tuotetaan Suomessa ja suurin osa tuodaan ulkomailta, kun taas uudelleen pinnoitus tehdään kokonaisuudessaan kotimaassa. Eli lisäämällä uudelleenpinnoitettujen renkaiden käyttöä luodaan samalla Suomeen uusia työpaikkoja, sekä säästetään ympäristöä ja uusiutumattomia luonnonvaroja. Tästä näkökulmasta katsottuna yhteiskunnan tulisikin tukea renkaiden uudelleenpinnoitusta parantamalla pinnoitettujen renkaiden kilpailukykyä esimerkiksi verotuksen keinoin.

6.3.1 Linjaus 1: Granulointi

Taulukossa 7 granulointiin päätyvä rengasvolyyymi on kohdassa vapaa kapasiteetti, jonka määrä vaihtelee 32 000 t/v - 16 000 t/v riippuen siitä, toteutuuko Oulun Energian pyrolyysilaitos yksi- vai kaksilinjaisena. Genanin Eurooppaan rakentamat granulointilaitokset ovat olleet kapasiteetiltaan 65 000 – 70 000 tonnia vuodessa käytöstä poistettuja renkaita ja viimeisin laitos Houstonissa on kapasiteetiltaan 100 000 tonnia.

Granulointilaitosten tarkkoja talouslukuja ei ole saatavissa, mutta eri aikaan rakennettujen laitosten kapasiteetin osuminen lähes samoille tonnimäärille ei voi olla pelkästään sattumaa. Todennäköisin syy valituille kapasiteeteille on se, että ollakseen kannattavia laitosten täytyy käsitellä renkaita noin 70 000 tonnia vuodessa. Suomessa kierrätettävien renkaiden kokonaisvolyyymi on 50 000 tonnia. Vaikka kaikki Suomessa kierrätettävät renkaat ohjattaisiin granulointiin, ei renkaiden kokonaismäärä ja taloudellisuus olisi Suomessa todennäköisesti kuitenkaan riittävä. Granulointilaitoksen tarvitsema lisävolyyymi täytyisi tuoda Suomeen muualta ja, koska granulaattien suurimmat markkinat löytyvät Euroopasta, niin granulointilaitoksen rakentamista Suomeen voidaan pitää hyvin epätodennäköisenä.

Granulointi Euroopassa jossakin jo olemassa olevassa Genanin laitoksessa on sen sijaan hyvin todennäköinen vaihtoehto tulevaisuuden renkaiden käsittelyssä.

Jo olemassa olevan laitoksen kiistattomina etuina ovat mm. valmiit markkinat loppu-tuotteille ja granulointiprosessin käytännön hallinta. Tämän vaihtoehdon etuna on myös se, että se soveltuu vapaan kapasiteetin kaikkiin taulukossa 7 esitettyihin tonnimääräisiin linjausvaihtoehtoihin. Granulointi täyttää myös jätehierarkian ja kiertotalouden vaatimukset pyrolyysiä paremmin. Granulointi tulee olemaan todennäköisin kierrätettyjen renkaiden käsittelyvaihtoehtona tulevaisuudessa.

6.3.2 Linjaus 2: Devulkanointi

Devulkanointia on tähän mennessä tehty vain laboratorio-olosuhteissa, joten se ei ole tällä hetkellä realistinen kierrätettyjen renkaiden käsittelytapa. Prosessina se on hidas ja vaatii toimiakseen ulkopuolista energiaa, joten devulkanointia ei voida pitää lähitulevaisuuden menetelmänä. Perusajatus devulkanoinnissa on kuitenkin hyvä, joten menetelmän uskotaan vielä kehittyvän tulevaisuudessa. Tällöin myös siitä voi muodostua varteenotettava prosessointivaihtoehto kierrätettyjen renkaiden käsittelyyn ja jatkohyödynnettävien materiaalien valmistamiseen vulkanoidusta kumista.

6.3.3 Linjaus 3: Pyrolyysi

Peatecin laitoksen lopetettua toimintansa Suomessa ei ole toimivaa renkaiden pyrolyysilaitosta. Tiedossa on, että Oulun Energia suunnittelee renkaiden pyrolyysilaitosta. Se aloittaisi yhdellä linjastolla, jolloin se tarvitsee Oulun Energian ilmoituksen mukaan 8 000 tonnia renkaita vuodessa. Myöhemmin voidaan rakentaa myös toinen samanlainen linjasto, jolloin kokonaiskapasiteetti nousee 16 000 tonniin käytettyjä renkaita vuodessa.

NesteJacobsin tekemässä tutkimuksessa todetaan taloudellisesti kannattavan pyrolyysilaitoksen minimikoon olevan noin 30 000 tonnia vuodessa, mikäli laitoksen tuottamat lopputuotteet saadaan kokonaisuudessaan myytyä nykyisellä hintatasolla. Olisi mielenkiintoista nähdä Oulun Energian laskelmat, joiden perusteella he olettavat pystyvänsä taloudellisesti kannattavaan tuotantoon jo 75 % pienemmällä vuosivolyymillä.

Vaihtoehdossa 1 Oulun Energian suunnittelema pyrolyysilaitos ei toteudu, joten vapaata rengaskapasiteettiä jää 32 000 tonnia. Tuo määrä riittäisi täyttämään esimerkiksi pyrolyysilaitokselle vaadittavan kannattavan vähimmäiskapasiteetin. Jos laitosinvestointia ei toteuteta, niin täytyy löytää muita hyödyntämistapoja, joista vienti johonkin jo Euroopassa toimivaan laitokseen on todennäköisin vaihtoehto.

Vaihtoehdossa 2 Oulun Energian suunnittelema pyrolyysilaitoksesta rakennetaan vain ensimmäinen osa. Jolloin se pudottaa vapaan kapasiteetin 24 000 tonniin vuodessa. Tällöin pyrolyysilaitoksen vaatiman vähimmäiskapasiteetin täyttämiseksi osa sen tarvitsemista renkaista täytyisi tuoda Suomeen jostakin muusta maasta. On tietenkin täysin mahdollista ja jopa perusteltua, että tuo puuttuva 6 000 tonnia vuodessa tuotaisiinkin Oulun Energialle esimerkiksi Pohjois – Ruotisista tai Pohjois – Norjasta.

Vaihtoehdossa 3 toteutetaan molemmat Oulun Energian suunnittelemaat laitokset, jolloin noin puolet pyrolyysilaitoksen vaatimista renkaista täytyisi tuoda Suomeen muualta. Euroopassa jo olemassa olevilla laitoksilla on mahdollisuus ottaa vastaan lisää renkaita, joten laitoksen rakentaminen Suomeen ilman sen tarvitsemaa raaka-ainepohjaa on hyvin epätodennäköinen.

Jos Oulun Energia päättää tulevaisuudessa toteuttaa edes ensimmäisen osan suunnittelemaastaan pyrolyysilaitoksesta tarkoittaa se todennäköisesti sitä, että kilpailevaa pyrolyysi laitosten investointia ei tultane tekemään. Ja mikäli jos Oulun Energian molemmat laitokset rakennetaan, niin kilpailevan laitosten investoinnin todennäköisyys vain pienenee.

6.3.4 Linjaus 4: Energiahyötykäyttö

Vaihtoehto, jossa kierrätettyjen renkaiden vapaa kapasiteetti ohjattaisiin kokonaisuudessaan energiahyötykäyttöön on hyvin epätodennäköinen mm. kiertotalouden asettamien vaatimusten johdosta. On hyvin todennäköistä, että jos kaikki polttolaitosten investoinnit toteutetaan, niin poltettava jäte- tai kierrätysraaka-aine ei yksinkertaisesti tule riittämään kaikille. Voimassa oleva EU:n komission tavoite kierrättää yhdyskuntajätteistä kierrätetään 50 % vuoteen 2016 mennessä vaikuttaa myös käytöstä poistettujen renkaiden kierrätykseen. Komission esitys uudesta yhdyskuntajätteen kierrätystavoitteesta on 70 % vuoteen 2030 mennessä. (EU 2015.)

Jo päätetyt kierrätystavoitteet, alustavat uudet tavoitteet ja puheet kiertotaloudesta eivät tue rengaskumijätteen polton lisäämistä. Jos sekalaisen yhdyskuntajätteen olemassa oleva kierrätystavoite on 50 % vuoteen 2016 mennessä, niin on vaikea uskoa, että huomattavasti puhtaamman kierrätetyn jättekumimateriaalin osalta voitaisiin hyväksyä huomattavasti pienempi tavoite.. Yhdyskuntajätteiden kierrätystavoitteiden saavuttamiseksi niiden lajittelua täytyy tehostaa, jolloin polttoon ohjautuu aina huonompaa materiaalia. Tämä taas saattaa johtaa siihen, että polttoprosessin ylläpitämiseksi joudutaan turvautumaan tukipolttoaineisiin, joista energiasisällöltään yksi parhaista on rengasmaateriaali.

Todennäköisesti myös tulevaisuudessa renkaiden energiahyötykäyttö rajoittuu niiden polttamiseen sementtiuuneissa. Jos niissä poltettavien kierrätyspolttoaineiden kokonaismäärä kasvaa, niin myös tarvittavan rengasvolyymien määrä kasvaa. Taulukon 3 mukaan energiahyötykäyttöön on vuosina 2013 ja 2014 päätynyt noin 17 % kierrätetyistä renkaista. Määrän voi olettaa hiukan kasvavan tulevaisuudessa, joten energiahyötykäyttöön käytettävien renkaiden kokonaismäärän voidaan tulevaisuudessa arvioida olevan maksimissaan n. 25 % kerätyistä renkaista.

7 TULOSTEN TARKASTELU JA POHDINTA

7.1 Rengasalan yleiset tulevaisuusnäkymät

Suomessa oleva henkilöautokanta ei oletettavasti enää kasva nykyisestä. Kohoavien logistiikkakustannusten johdosta kuljetuksissa pyritään koko ajan tehokkaampiin ratkaisuihin. Epätodennäköistä on se, että käytöstä poistuvien renkaiden määrä kasvaisi tulevaisuudessa huomattavasti arvioidusta määrästä 50 000 t/a. Viime vuosina vallinnut taloudellinen taantuma on vaikuttanut julkisuudessa olleiden tietojen perusteella uusien henkilöautojen myynnin taantumiseen. Ilmeistä on kuitenkin, että ajatut kokonaiskilometrit eivät ole samanaikaisesti vähentyneet, koska siitä ei ole juurikaan raportoitu. Renkaiden kulutuksen voidaan edellisen perusteella olettaa säilyvän nykytasolla.

Vuonna 2014 nostettiin raskaiden ajoneuvojen maksimipainoja. Sillä voi olla vaikutuksia kierrätykseen päätyvien kuorma-auton renkaiden kokonaismäärään.

Uudelleen pinnoittamisen kehittyminen vaikuttaa eniten jatkossa käytöstä poistettujen renkaiden uusiokäyttöön ja sitä kautta niiden menekkiin. Suomen Euromasterin mukaan kuorma-auton renkaita pinnoitetaan keskimäärin 2,5 – kertaa ja jos tuo pinnoituskertojen lukumäärä saataisiin nousemaan vaikka kolmeen, niin sillä olisi huomattava vaikutus syntyvään kierrätettävien kuorma-auton renkaiden määrään. Jotta pinnoituskertojen lukumäärää voitaisiin todella nostaa, niin uudelleen pinnoitus tulisi huomioida kuorma-auton renkaiden suunnittelussa ja valmistuksessa ainakin rengasrunkojen kestävyys osalta.

Käytettäessä rengaskumijätettä materiaalihyötykäyttökohteissa menetetään sen sisältämät arvokkaat raaka-aineet ja siinä oleva energia käytännössä lopullisesti. Raaka-aineiden saatavuuden vaikeutuessa koko ajan ja energianhinnan nousun myötä menettelyjen aineiden arvo kasvaa, joka luo myös omalta osaltaan painetta rengaskumijätteen uudenlaisten hyödyntämismenetelmien kehittämiseksi ja käyttöön otolle. Myös kuluttajien mielipide on jo nyt myönteinen kierrätykselle ja uusiokäytölle, joka taas luo painetta renkaiden tuottajille löytää ympäristön kannalta kestäviä ja hyväksyttäviä ratkaisuja.

Renkaiden maahantuojaat ovat perustaneet renkaiden kierrätykseen tuottajayhteisön, joka toimii nykyisin todella hyvin. Renkaiden maahantuojilla on olemassa myös lukuisa joukko muita tuottajayhteisöjä muissa maissa. Käytännössä lähes kaikki renkaiden tuottajayhteisöt toimivat Euroopassa samojen Euroopan Unionista tulevien määräysten mukaisesti. Tulevaisuudessa tulisi kuitenkin vielä pohtia mahdollisuutta tuottajayhteisöjen määrän vähentämiseen niitä yhdistämällä. Suurempien volyymien ansioista niillä olisi enemmän neuvotteluvoimaa kierrätettyjen renkaiden hyötykäyttöä.

Työn tekijän näkemyksen mukaan tuottajayhteisöjen lukumäärää ei tulisi vähentää, koska ainoa säästö syntyisi hallinnollisten päällekkäisyyksien vähenemisestä, joka alentaisi kustannuksia vain vähän. Lisäksi kuluttajien yleinen suhtautuminen jätehuoltoon, kierrätykseen ja uusiokäyttöön poikkeaa eri maiden välillä hyvinkin paljon. Monikanallinen tuottajayhteisö voisi toki saada säästöjäkin mm. kuljetuksia yhdistelemällä tai suurempien myyntierien avulla. Näillä toimenpiteillä ei kuitenkaan olisi kovin suurta vaikutusta uuden renkaan kierrätysmaksuihin, koska saatavat säästöt olisivat todennäköisesti kuitenkin pieniä. Aikaisemmin todettiin myös, että esim. Suomessa perittävä renkaiden kierrätysmaksu on niin pieni osa itse renkaan hinnassa, että sen alentaminen vaikkapa 10 %:lla ei juurikaan tuntuisi kuluttajalta veloittavassa hinnassa. Pitää muis-

taa myös se, että tuottajayhteisöjen yhdistyminen on käytännössä mahdollista vain niiden maiden osalta, joissa käytöstä poistettujen renkaiden kierrätys on järjestetty tuottajayhteisöjen toimesta. Tällaisia maita ovat mm. Pohjoismaat ja Baltian maat.

7.2 Potentiaalisimmat hyödyntämistavat

On hyvin todennäköistä, että tällä hetkellä käytetyimmät käsittely- ja hajotusmenetelmät kuten seuraavat:

- Tie- ja maanrakennuksen kevennysrakenteet
- Rengaspaalit
- Meluvallit
- Kaatopaikkarakenteet sallituilta osin
- Poltto sementtiuuneissa
- Uudelleen pinnoitus
- Muu materiaali hyötykäyttö esim. räjäytysmattojen valmistus

säilyttävät merkittävän asemansa myös tulevaisuudessa.

Vaikka tuleva orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto estääkin rengasrouheiden käytön kaatopaikkarakentamisessa pohjarakenteiden kuivatuksessa ja salaojituksessa, niin käyttö tiivistyskerrosten yläpuolisissa osissa sallitaan edelleen. Lisäksi rengaspaaleja, kokonais renkaiden ja rengasrouheita voidaan käyttää jatkossakin tienrakentamisessa kevennysmateriaaleina tai vaikka esimerkiksi meluvallien rakennusaineena.

Rengaspaalien, kokonaisten renkaiden ja suurikokoisten rengasrouheiden tuotanto on tuotantokustannuksiltaan hyvin edullista verrattuna esimerkiksi pienikokoisten rengasrouheiden tuottamiseen ja kokonaisten renkaiden osalta suoranaisia tuotantokustannuksia ei edes ole. Näiden käyttömuotojen tarvitsemat käyttömäärät riippuvat suoraan siitä, kuinka paljon kaatopaikkaprojekteja tai suuria tiehankkeita tullaan tulevaisuudessa toteuttamaan. Tällä hetkellä vallitsevan taloudellisen taantuman johdosta suuria tiehankkeita ei juurikaan ole suunnitteilla. Täytyy kuitenkin muistaa, että seuraava operaattorisopimus alkaa 1.1.2016 ja on kestoaltaan vähintään viisi vuotinen. Talouden tilaa emme pysty täysin tulevaisuutta ajatellen esim. vuodelle 2020 arvioimaan, emmekä sitä, mikä tuolloin on infrarakentamisen hankkeiden tilanne Suomessa yleensäkin. Renkaiden uusiokäyttö ja materiaalihyötykäyttö pysyvät nykyisellään tai kasvavat hieman.

Rengasrouhetta energiaksi polttavia sementtiuuneja Suomessa on tällä hetkellä vain Paraisilla ja, jos siellä tapahtuvaan sementintuotantoon ei tule muutoksia, niin rengasrouheen käyttömäärät pysyvät nykyisellään.

Tämän DI – työn tulevaisuuslinjausten (vrt. Linjaukset 1 – 4) perusteella pystytään jo nyt toteamaan, että ns. perinteisten hyötykäyttötapojen rinnalle tarvitaan Suomessa jo lähitulevaisuudessa uusia kierrätettyjen renkaiden hyötykäyttömuotoja. Tässä työssä koottu aineisto osoitti, hyvin selkeästi sen, että rengasmateriaalin pyrolyysi ei ole tällä hetkellä todennäköisin uusi hyödyntämismuoto. Pyrolyysia on kokeiltu erikokoisissa laitoksissa ja eri maissa, mutta toimivaa laitosta ei ole saatu aikaiseksi. Todennäköisin syy pyrolyysilaitosten epäonnistumiseen on se, että prosessien ylläpitämiseksi vaadittavan ulkopuolisen energian kustannukset ovat liian korkeat suhteessa lopputuotteista saataviin hintoihin.

Tutkimuksen aikana esiin tulleet devulkanointi menetelmät ovat nykyisellään liian hitaita teollisiksi prosesseiksi. Devulkanointi on myös teknisesti hyvin vaativa prosessi. Lähteenä käytetyssä *Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies*, 2004 – tutkimuksessa todetaan, että seostamalla tuotettu kumimateriaali on yhdistelmä taidetta ja tiedettä. Lause kuvaa hyvin kaikki niitä haasteita, joita devulkanointimenetelmien käyttöön liittyy. Kumin valmistamisesta julkaistu paljon erilaisia tutkimuksia ja muuta materiaalia, mutta käytännössä valmistaminen sisältää yhä paljon intituutiota ja erehdyksen kautta tapahtuvaa oppimista. Esimerkiksi täyteaineen vahvistaminen hiilimustalla lisää kumin vetolujuutta vain tiettyyn rajaan saakka ja optimaalisen tason löytäminen vaatii tieteellisten faktojen tueksi myös käytännön osaamista kumin tuotannossa.

Ollakseen taloudellisesti kannattavia rengaskumijätteen hyödyntämislaitokset vaativat riittävän volyymin ja lähes poikkeuksetta kahden pienen laitoksen rakentaminen ja käyttäminen on tuotantoyksikköä kohti kalliimpaa kuin yhden suuren. Onkin hyvin todennäköistä, että tulevaisuudessa rengaskumijättemateriaalia kuljetetaan huomattavasti nykyistä enemmän yli maarajojen.

Toimiakseen kunnolla ja taloudellisesti kannattavasti sekä devulkanointi että pyrolyysi vaativat huomattavia parannuksia prosessien tuottavuuteen ja niiden hallintaan. Prosesseista saatavien uusioraaka-aineiden hintojen täytyy tulla kilpailukykyisemmiksi perinteisten raaka-aineiden suhteen, jotta toiminta tulee taloudellisesti kannattavaksi. Perinteisten raaka-aineiden hintojen nousu noudattelee yleistä kustannustason nousua, johon myös laitosten käyttökustannusten nousu perustuu. Jotta rengaskumimateriaalin hajottamisprosesseista saatavien lopputuotteiden hinnoista tulisi kilpailukykyisempiä, niin ne vaatisivat tuekseen niiden kilpailukykyä tukevia yhteiskunnallisia päätöksiä. Taloudelliset ohjauskeinot voivat olla perinteisille raaka-aineille asetettavat verot tai rengaskumimateriaalien hajottamisprosesseille tai niiden lopputuotteille maksettavat tuet tai verohelpotukset. Tietenkin yhteiskunnan keinovalikoimissa ovat myös muut kuin taloudelliset ohjauskeinot. Esimerkiksi lainsäädännön kautta voitaisiin määrätä ensisijaiseksi raaka-aineiksi kierrätysmateriaaleista saatavat raaka-aineet, mikäli niitä vain on saatavilla. Tämä pakotteen omainen keino kierrätyksen edistämiseksi olisi kuitenkin hyvin epätoennäköinen, koska se on vastoin EU:n perusperiaatteita vapaasta kilpailusta.

Koska toimivaa rengaskumimateriaalin hajotusmenetelmää ei ole toistaiseksi täysin kehitetty, täytyy mekaanisia käsittelymenetelmiä kehittää edelleen. Tämä tarkoittaa sitä, että jo olemassa olevien menetelmien ja käyttömuotojen rinnalle kehitettäisiin pidemmälle vietyjä menetelmiä. Näissä rengasjäte käsitellään mekaanisesti nykyistä pidemmälle, renkaat leikataan tai jauhetaan niin pieneen fraktioon, että eri materiaalit saadaan lajiteltua toisistaan lopputuotteiden vaatimaan puhtauteen. Tämä johtuu siitä, että rengasrouhetta on parempi käyttää pienemmässä partikkelikoossa. Puhtaampien lopputuotteiden myyntihintojen täytyy olla niin paljon parempia, että ne kattavat lisääntyneen käsittelyn aiheuttamat kustannukset.

7.3 Hyödyntämismenetelmien rajoitteet

Tutkimuksen aikana selvisi, että erilaisia toimivia ja käyttökelpoisia menetelmiä käytöstä poistettujen renkaiden hyödyntämiseen on hyvin vähän. Tällä hetkellä yksikään käytössä olevista menetelmistä ei pysty palauttamaan käytöstä poistettua rengasta uuden renkaan raaka-aineeksi. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että vulkanoinnin yhteydessä kumimateriaalille tapahtuvia muutoksia ei pystytä palauttamaan takaisin lähtötilanteeseen.

Parhaiten kiertotalouden ja uusiokäytön haasteisiin pystyy vastaamaan renkaiden uudelleen pinnoitus. Renkaan runkorakenne kestää kuitenkin vain rajallisen määrän uudelleen pinnoituksia, joten myös uudelleen pinnoitettujen renkaiden viimeiseen käsittelyyn tulisi löytää uusia menetelmiä.

Renkaiden materiaalihyötykäyttöratkaisuissa menetetään renkaissa olevien raaka-aineiden lisäksi renkaiden energiasisältö, mutta renkaita käyttämällä pystytään vähentämään muiden neitseellisten raaka-aineiden käyttöä.

Renkaiden poltossa pystytään hyödyntämään renkaiden energiasisältö, mutta renkaissa olevat raaka-aineet menetetään teräskudoksia lukuun ottamatta. Teräskudoksista saadaan suurin osa uudelleen käyttöön polttolaitosten tuhkista, mutta polttoprosessista johdun saadun teräsromun laatu on heikko.

Ympäristön kannalta parhaaseen ja kestävimpään käytöstä poistettujen renkaiden kierrätykseen päästään uudelleen pinnoitusta lisäämällä. Jos kaikki renkaat saataisiin pinnoitettua yhden kerran uudelleen, niin rengasjätteen määrä laskisi huomattavasti nykyisestä tasostaan. Tällöin täyttyisi myös jätehierarkian ensisijainen tavoite, joka on jätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen. Myös uusien renkaiden tarve vähenisi huomattavasti, jolloin säästettäisiin niiden valmistukseen tarvittavat raaka-aineet ja energia.

7.4 Granuloinnin valinta hyödyntämismenetelmäksi

Nykyisellään renkaiden uudelleen pinnoitus ei pysty hyödyntämään syntyvää rengasjätettä, joten sen tilalle täytyi löytää ns. toiseksi paras vaihtoehto.

Hyödyntämislinjausten tarkastelu osoitti, että potentiaalisin uusi rengaskumijätteen hyödyntämismenetelmä Suomessa on ns. granulointi. Granulointi vaikuttaa uusista menetelmistä ainoalta, joka on toiminut hyvin. Teollisen mittakaavan tuotantolaitoksia on toiminnassa yksistään Euroopassa neljä ja niiden yhteenlaskettu granulointikapasiteetti on 275 000 t/a. Ensimmäinen laitos aloitti toimintansa Tanskassa v. 1990, joten käytännön kokemusta kierrätettyjen renkaiden teollisesta granuloinnista on jo noin 25 vuoden ajalta.

Menetelmän on todettu toimivan käytännössä ja kumimateriaalin granuloinnista saataville lopputuotteille on myös ollut kasvavaa kysyntää. Tämän johdosta granulointilaitoksia on rakennettu lisää. Kumi muodostaa 2/3 granuloinnin lopputuotteista ja sen tärkeimmät käyttökohteet ovat asfalttipäällysteseokset. Toinen tärkeä granuloidun kumin käyttömuoto on sen käyttö tekonurmien raaka-aineena. Kumiteollisuus myös on alkanut lisääntyvässä määrin käyttämään kumigranulaattia raaka-aineenaan. Granuloinnista saatavat teräslangat voidaan hyödyntää terästeollisuudessa ja tekstiilikudokset energian tuotannossa. Kaikille granuloinnista syntyville lopputuotteille on suhteellisen hyvät

markkinat, joiden johdosta voidaan olettaa kumigranulaatin tasaisen ja hiukan nousujohteisen kysynnän jatkuvan myös tulevaisuudessa.

Granulointi voidaan valita potentiaalisimmaksi hyödyntämislinjaukseksi mm. seuraavin perustein:

- se on ympäristöystävällinen ja täyttää hyvin EU:n jätehierarkian asettamat vaatimukset
- kymmenien vuosien toiminnan johdosta menetelmän voidaan todeta toimivan myös käytännössä
- tuotannosta saataville jakeille on muodostunut vakiintuneet markkinat

Suomesta kerättävä rengasvolyyymi on niin pieni, että se ei riitä kattamaan kannattavan granulointilaitoksen vaatimaa vuosimäärää. Tarvittavan lisävolyymin tuominen Suomeen tuntuu hyvin epätodennäköiseltä, koska granulaattien päämarkkinat ovat Euroopassa. Granulointi tehdään täten jollakin jo toiminnassa olevalla laitoksella. Tällöin Suomesta mahdollisesti granulointiin menevät renkaat viedään tulevaisuudessa näihin jo olemassa oleviin laitoksiin.

7.5 Johtopäätelmät ja arvio alan kehittämistarpeista tulevaisuudessa

Positiivisintä käytöstä poistettujen renkaiden kierrätyksessä on se, että järjestelmä toimii käytännössä hyvin ainakin Euroopan mittakaavassa. Käytöstä poistettu rengas on kuitenkin ominaisuuksiltaan sellainen, ettei sillä ole juurikaan uusiokäyttöä kotitalouksissa joitakin erikoistapauksia lukuun ottamatta. Loppuun käytetty rengas on pelkkää jätettä yksittäisen kuluttajan kannalta. Tämä selittää omalta osaltaan hyvän kierrätysasteen, eli käytetty rengas on helppo antaa kierrätykseen, koska kuluttaja ei itse pysty sitä hyödyntämään.

Kokonaisten renkaiden hyödyntämisen lisäksi kaikki käytössä olevat ja toimivat menetelmät käytöstä poistettujen renkaiden uusiokäyttöön perustuvat samaan tekniikkaan, joka on kokonaisen renkaan mekaaninen pienentäminen. Energiahyötykäytön edellytyksenä on renkaan leikkaaminen sellaiseen palakokoon, että materiaalin syöttäminen polttolaitokseen onnistuu. Materiaalihyötykäytössä edistyksellisintä tekniikkaa edustaa granulointi, joka perustuu pelkkään mekaaniseen hienontamiseen.

Tutkimuksen aikana tuli esille myös se, että luikuisista yrityksistä huolimatta pyrolyysia ei ole saatu toimimaan rengaskumimateriaaleilla taloudellisesti kannattavalla tavalla. Pyrolyysi esitetään suhteellisen yksinkertaisena ja helposti hallittavana prosessina, mutta käytännössä se on osoittautunut huomattavasti vaikeammaksi toteuttaa. Toinen merkillepantava havainto oli se, että toimivia rengaskumijätteen hyödyntämismenetelmiä on itse asiassa melko vähän. Tämä johtuu mm. siitä, että myöskään devulkanointia ei vielä ole kehitetty täysin toimivaksi menetelmäksi.

Koska on ilmeistä, että itse kumimateriaalin hajottaminen devulkanoimalla ei ole teknisesti tai taloudellisesti kannattavaa nykyisillä raaka-aineiden hinnoilla, kannattaisi kehitystoimet suunnata etupäässä renkaan mekaanisen hajottamisen kehittämiseen. Yhtenä uutena menetelmänä voisi olla esim. renkaiden leikkaus korkeapaineisella vesisuihkulla.

Tässä työssä kehittämisideoiksi jäävätkin lähinnä seuraavien hajotuksen teknisten työvaiheiden kehittäminen nykyistä toimivimmiksi:

- leikkaamisen
- rouhimisen
- hiertämisen
- jauhamisen

Elastisena materiaalina kumi on hankala pienennettävä ja kun sitä vielä renkaassa vahvistetaan erilaisilla kudoksilla, niin asia vaikeutuu entisestään. Tarvitaan uusia ja innovatiivisia leikkaustapoja, kuten esimerkiksi vesileikkaus.

Käytöstä poistettujen renkaiden kierrätys toimii yleisesti nykyisin hyvin ja kaikille kerätyille renkaille on tähän saakka löytynyt hyötykäyttötapoja, joilla avulla on pystytty vähimmilläänkin säästämään esimerkiksi neitseellisiä kiviaineita. Rengasjättemateriaalin avulla pystyttäisiin mahdollisesti säästämään myös kiviaineita huomattavasti kalliimpia ja harvinaisempia uusiutumattomia luonnonvaroja kuten esimerkiksi raakaöljyä.

Em. perusteella kierrätettyjen renkaiden uusiokäytön tehostamiseksi ja parantamiseksi jäävät jätehierarkian tasojen 3,4 ja 5 mukaisten käyttömuotojen kehittäminen. Parhaimmillaan tämä tarkoittaa sitä, että kaikki nyt loppusijoitukseen päätyvä materiaali käytettäisiin kierrätykseen, jolloin rengaskumimateriaalista saataisiin uusioraaka-aineita uusien renkaiden tai muiden tuotteiden valmistamiseen. Toisaalta olisi huomattava parannus nykyiseen verrattuna, jos loppusijoitukseen päätyvä rengaskumijättemateriaali menisikin loppusijoituksen sijasta esimerkiksi polttoon.

Rengasjätteiden hyödyntämismenetelmiin kannattaa panostaa myös tulevaisuudessa ja niiden hyödyntämisen tukeminen tulee priorisoida tärkeäksi.

7.6 Tulosten luotettavuustarkastelu

Tutkimus on tehty aiheesta saatavilla olevan kirjallisen materiaalin perusteella, eikä varsinaisia kokeita tai mittauksia ole tehty. Tämän johdosta tutkimuksessa ei ole esimerkiksi mittaustoleransseihin tai vastaaviin liittyviä virhetekijöitä. Tutkimuksessa lähteinä käytetyt kirjallisuusselvitykset antavat kattavan selvityksen aiheesta olevista tieteellisistä tutkimuksista ja ne ovat myös riittävällä tarkkuudella, jotta tutkimuksessa tehdyt johtopäätökset voidaan niiden avulla perustella. Aiheesta tehtyjä tieteellisiä tutkimuksia on hyvin vähän, joten niissä saatuja tuloksia ei voi varmistaa toisista tutkimuksista.

Renkaiden kierrätyksellä ja kierrätettyjen renkaiden käyttöön liittyvät tilastotiedot ovat Euroopasta vuodesta 1994 ja Suomessa vuodesta 1996 lähtien. Suomen Rengaskierrätyksen toimitusjohtaja Risto Tuominen pitää tilastoja hyvin luotettavina. Myös yhteiskunnalliset olosuhteet Euroopassa ovat olleet hyvin stabiilit tarkastelujakson aikana. Historian perusteella voidaan todeta, että renkaiden kierrätys ja kierrätettyjen renkaiden käyttö on vakiintunut. Myös kierrätettyjen renkaiden käsittelytapojen muutokset ovat hyvin loogisia ympäristöasioissa tapahtuneiden kierrätystä ja uusiokäyttöä tukevien muutosten kanssa..

Tutkimuksen päätelmien suurin epävarmuus liittyy raaka-aineiden hintojen mahdollisiin muutoksiin tulevaisuudessa. Tutkimuksen tekemisen aikana julkisuudessa olevien tietojen perusteella esimerkiksi raakaöljyn hinnan oletetaan pysyvän nykyisellä tasolla myös seuraavat vuodet. Raaka-aineiden hintojen mahdolliset muutokset vaikuttavat renkaiden prosessoinneista saatavien lopputuotteiden hintakilpailukykyyn neitseellisten raaka-aineiden suhteen. Yleisellä tasolla voidaan perustellusti olettaa raaka-aineiden hintojen kallistuvan tulevaisuudessa niiden saatavuuden vaikeutuessa, joten renkaista saatavan materiaalin kilpailukyky paranee tulevaisuudessa.

Raaka-aineiden kallistuminen parantaa kierrätysmateriaalien kilpailukykyä, joka rengaskumimateriaalin osalta tarkoittaa kaikkien lopputuotteiden kilpailukyvyn parantamista. Energian hinnan huomattava kallistuminen voi muuttaa eri menetelmien keskinäistä järjestystä, mutta yleisellä tasolla sekin vain tukee etusijajärjestyksen toteutumista.

Devulkanoinnista materiaalia on saatavilla hyvin vähän ja viime vuosina sitä ei ole tutkittu lainkaan. Devulkanointia teollisessa mittakaavassa ei tutkimusta tehtäessä ole tietävästi tehty missään, joten sen tarkastelu jää teoria-asteelle. Mahdollinen tekninen läpimurto devulkanointimenetelmissä voi tulevaisuudessa muuttaa devulkanoinnin kilpailukykyä muihin menetelmiin verrattuna, mutta tällä hetkellä läpimurto ei ole todennäköinen. Eri menetelmien keskinäisten erojen voidaan olettaa säilyvän nykyisen suuruisina myös tulevaisuudessa.

Työssä tehtyjen päätelmien luotettavuutta parantaa tekijän pitkä työkokemus erilaisten kierrätettävien materiaalien parissa. Mahdollisiin jatkotutkimuksiin tulee sisällyttää tapauskohtaisesti myös luotettavuustarkastelu.

8 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää uusia käyttömuotoja kierrätettyjen renkaiden hyödyntämiseen nykyisin käytössä olevien menetelmien rinnalle ja/tai korvaajaksi. Näiden uusien menetelmien tulee olla jätehierarkian etusijajärjestyksen mukaisia ja renkaiden materiaalihyötykäyttöä parantavia. Lisäksi uusien menetelmien tulee sopia Suomessa vuosittain kierrätettävän n. 50 000 tonnin rengasvolyymin käsittelyyn.

Renkaiden keräys ja kierrätys toimii Suomessa ja Euroopassa hyvin sekä kuluttajien, renkaiden tuottajien ja yhteiskunnan kannalta katsottuna. Lähes kaikki käytöstä poistuva rengasmateriaali päätyy kierrätysjärjestelmään koko Euroopassa ja Suomessa laskennallinen kierrätysprosentti on yli 100. Kerätyt renkaat päätyvät uusiokäyttömuotoihin, joiden avulla voidaan vähintäänkin säästää neitseellisiä kiviaineita. Usein saatava hyöty on vielä huomattavasti suurempi. Eri periaatteilla olevia kierrätysjärjestelmiä on Euroopassa useita erilaisia, mutta kaikki ne pystyvät täyttämään niille asetetut kierrätystavoitteet.

Suomessa tähän saakka yleisimpänä käytöstä poistettujen renkaiden hyötykäyttömuotona on ollut materiaalihyötykäyttö. Uuden jätelain johdosta materiaalihyötykäyttökohteista poistuu tähän saakka suurimman volyymin käyttänyt kaatopaikkarakentaminen. Käyttämällä käytöstä poistettuja renkaita tai niistä valmistettuja rouheita maanrakennuskohteissa menetetään rengasmateriaalin sisältämät hyödynnettävät raaka-aineet ja kumimateriaalin energiasisältö. Myös voimassa oleva jätehierarkia ja EU:n uudet tavoitteet kiertotalouden suhteen luovat paineita myös käytöstä poistettujen renkaiden hyötykäytön kehittämiseksi.

Tutkimuksen aikana kävi hyvin selkeästi ilmi, että vielä ei ole olemassa riittävän toimintavarmaa ja taloudellisesti kannattavaa menetelmää kumimateriaalin kemialliseen hajottamiseen. Renkaiden pyrolyysiä on kokeiltu sekä Suomessa että muualla Euroopassa, mutta toimivaa laitosta ei ole saatu aikaiseksi. Havainto oli hiukan yllättävä, sillä pyrolyysiä pidetään kuitenkin kohtuullisen yksinkertaisena ja helppona prosessina.

Rengas pystytään käsittelemään mekaanisesti puhtaaksi kumigranulaatiksi, teräkseksi ja tekstiilivöiksi, ja kaikille niille löytyy hyviä ja ympäristön kannalta kestäviä käyttökohteita. Kumin palauttaminen alkuperäiseksi raaka-aineeksi devulkanoiden ei ole onnistunut lukuisista yrityksistä huolimatta. Kierrätetyn renkaan palauttaminen kokonaisuudessaan uuden renkaan valmistuksessa käytettäväksi uusiokumiksi ei ole ollut täten mahdollista kuin vain koemielessä.

Ensisijaisesti tulevaisuudessa tulee edelleen kehittää renkaan mekaanista hajottamista ja granulointia. Kiertotaloudessa on tarkoituksena kehittää kaikkea materiaali- ja energiakierrätystä, joten pyrolyysin ja devulkanoinnin kehittämistä ei voida täten sulkea pois keinovalikoimasta mietittäessä uusia tapoja hyödyntää rengaskumimateriaalia.

Tutkimuksen perusteella tällä hetkellä paras rengasmateriaalin hyötykäyttömuoto on rengasmateriaalin granulointi. Euroopassa on useita jo pitkään toimineita laitoksia, joiden lopputuotteilla on hyvät ja vakiintuneet markkinat. Granulointi menetelmänä on saatu toimivaksi ja taloudellisesti kannattavaksi. Se täyttää myös nykyiset kierrätysvaatimukset huomattavasti paremmin kuin nykyinen tapa Suomessa käyttää rengasmateriaalia maanrakennuskohteissa.

Sekä devulkanoinnissa että pyrolyysissä syntyville lopputuotteille olisi kysyntää. Esimerkiksi hiilimusta on maailman 50 käytetyimmän kemikaalin joukossa. Näiden lopputuotteiden kilpailukyky riippuu täysin siitä, kuinka kallista on niiden primäärituotanto. Se on yleensä riippuvainen öljyn hinnasta, joka on tällä hetkellä alhainen ja hinnan nousun odotetaan olevan myös maltillista tulevaisuudessa.

Energian kulutus jatkaa kasvuaan myös tulevaisuudessa ja useiden raaka-aineiden saatavuus vaikeutuu, joten tämä voi luoda paineita käyttää edelleen renkaita poltossa vaikka se ei ole jätehierarkian mukaista.

Lähdeluettelo

Aurinko H. 2012. Ohje rengasrouheen käyttämisestä ja mitoittamisesta kaatopaikkarakenteissa. Laatuinsinöörit Oy. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 17.9.2015]. Saatavissa: http://www.rengaskierratys.com/files/60/Ohje_rengasrouheen_kayttamisesta_kaatopaikkarakenteissa_01102012.pdf

Encyclopedia Britannica. John Boyd Dunlop. British veterinary surgeon [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 4.1.2015]. Saatavissa: <http://www.britannica.com/biography/John-Boyd-Dunlop>

Autonrengasliitto ry. 2015. Suomen Rengaskierrätys Oy. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.2.2015]. Saatavissa: <http://www.autonrengasliitto.fi/?s=Rengaskierratys>

C Roy, A Haala ja H Darmstadt. 1999. The vacuum pyrolysis of used tires: End-uses for oil and carbon black products. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 27.12.2015]. Saatavissa: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ShoppingCartURL&_method=add&_eid=1-s2.0-S0165237099000170&originContentFamily=serial&_origin=article&_ts=1455527162&md5=e2e880d4371131ee8fd320ef67abb277

CalRecovery Inc. 2004. Evaluation of waste tire devulcanization technologies. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.12.2014]. Saatavissa: <http://www.calrecycle.ca.gov/Publication/Documents/Tires%5C62204008.pdf>.

Canarb. 2014. Technical Manual. Manufacturing. Manufacture Of Thermal Black. Canarb. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.12.2014]. Saatavissa: <http://www.cancarb.com/thermal-carbon-black/technical-manual.html>

CEN. 2010. CEN/TS 14243:2010 Materials produced from end of life tyres – Specification of categories based on their dimension(s) and impurities and methods for determining their dimension(s) and impurities. ISBN 978-0-580-53713-4

EcoGreen. 2015. Kaksi- roottorisen rengasleikkurin syöttökita. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu]. Saatavissa: <http://i.ytimg.com/vi/DckmDcPZEh4/hqdefault.jpg>

Enviro. Scandinavian Enviro Systems Tyre Recycling. 2014. CFC- processen (Carbonized by Forced Convention) är en teknik som utvecklas av Bengt-Sture Ershag. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.1.2015]. Saatavissa: <http://www.envirosystems.se/teknik/cfc-processen/>

Etra. 2014. PAS 107: Specification for the Manufacture and Manufacture and Storage of Size Reduced Tyre Materials. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.4.2015]. Saatavissa: <http://www.tyreandrubberrecycling.com/article/pas-107-specification-for-the-manufacture-and-storage-of-size-reduced-tyre-materials/>

ETRMA. 2009. Tyre Generic Exposure Scenario End of Life Tyre Guidance. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.12.2014]. Saatavissa: <http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/chemrisk--09-12-16-end-of-life-tyre.pdf>

ETRMA. 2011. End of life tyres. A valuable resource with growing potential. 2011 edition. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 5.12.2014]. Saatavissa: <http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/brochure-elt-2011-final.pdf>

ETRMA. 2012. UT/Part Worn Tyres/ELT`s Europe – Volumes Situation 2011 [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavissa: http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2012-11-30_ut-recovery-2011---table-for-press-release_final_all-countries-incl-uk.pdf

Evira. 2008. Useimmat voimalaitosten tuhkat kelpaavat lannoitevalmisteksi. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 19.2.2015]. Saatavissa: <http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/ajankohtaista/arkisto/?bid=286>

Finlex. 1995. Ajantasainen lainssädäntö. Valtionneuvoston päätös käytöstä poistettujen renkaiden hyödyntämisestä ja käsittelystä. 12.10.1995/1246 [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.12.2014]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1995/19951246>

Finlex. 2000. Ajantasainen lainsäädäntö. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. 19.5.2000/461 [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.10.2015]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000461>

Finlex. 2011. Ajantasainen lainsäädäntö. Jätelaki. 17.6.2011/646 [Verkkodokumentti]. [Viitattu 31.1.2015]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4telaki>

Finlex. 2014. Ajantasainen lainsäädäntö. Jätelain muutos. 6.6.2014/410 [Verkkodokumentti]. [Viitattu 19.2.2015]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4telaki#a6.6.2014-410>

Genan. 2013. Genan – High quality rubber powder and granulate. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.11.2015]. Saatavissa: <http://www.genan.eu/>

Goodyear. 2015. Goodyear`s Early History. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.1.2015]. Saatavissa: <https://corporate.goodyear.com/en-US/about/history/beginnings.html>

Haapamatti K. 2014. Renkaankierrätys 2/2014. Rengasrouhe vedenpuhdistajana. S. 6 - 7.

Heinonen H. Kuusakoski Oy. 2015. Teräsromulaadun HMS 1&2 (80:20 mix) fob Rotterdam vientihinnan kehitys.

Michelin Oy. 2015. Historie du groupe Michelin. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 28.12.2014]. Saatavissa: <http://www.michelin.com/fre/groupe-michelin/profil/histoire-groupe-michelin#>

Michelin Oy. 2014. Renkaan rakenne. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.10.2014]. Saatavissa: <http://www.michelin.fi/henkiloauton-renkaat/rengaskoulu/perustietoja-renkaista/renkaan-rakenne>

Mäkelä M ja Vainiotalo S. Työterveyslaitos. 2010. PAH – yhdisteet: terveysvaikutukset ja altistuminen. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.2.2015]. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/pah-yhdisteet_ja_niiden_esiintyminen/terveysvaikutukset_ja_altistuminen/sivut/default.aspx

Nurmi P, Räisänen E-P ja Ketomäki M. NesteJacobs. 2014. ELT pyrolysis a business opportunity? Lassila & Tikanoja Oyj:n tilaama projektityö. S 10 – 41.

Palo-Oja R ja Willberg L. 1998. KUMI. Kumin ja Suomen kumiteollisuuden historia, Tampere. S. 1 – 22. ISBN 951-809-065-6

Pantsar M. 2014. Sitra. Kilpailukykyinen, jätteetön kiertotalous. Blogikirjoitus. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.2.2015]. Saatavissa: <http://www.sitra.fi/blogi/hiilineutraali-teollisuus/kilpailukykyinen-jatteeton-kiertotalous>

Patnaik T ja Brown B. 2010. Carbon black: Why quality matters. Rubber & plastics news. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 4.3.2015]. Saatavissa: http://digital.csic.es/bitstream/10261/102706/1/BoletinGEC_030_Martinez.pdf

Peatec. 2013. Hiilimustan käyttökohteet. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 8.12.2014]. Saatavissa: http://www.peatec.eu/ymparisto_ja_turvallisuus

Pisto S, Alho V ja Rinnepelto P. 2014. Rengasrouheen soveltuvuus yhdyskuntajäteveden puhdistamisessa käytetyn biosuodattimen kantoaineeksi. S. 1 – 9. Tutkimusprojekti. Saatavissa: http://www.rengaskierratys.com/files/73/Rengasrouhe_loppuraportti_TIIVISTELMA_2.pdf

Raahauge L. Genan. 2013. Seminaariesitys. Tyre Rubber Recycling seminaari Brysselissä 20.11.2013.

Ranta J. 2002. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Autonpaloittelujätteen ja rengasromun terminen konversio energiaksi ja raaka-aineeksi. VTT Energia. S. 60. ISBN 951-38-5442-6 (painettu) ISBN 951-38-5443-4 (sähköinen). Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1960.pdf>

Rengas-online. 2015. Tarjouksemme Hankook 205/55 16 Kesärenkaat. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.2.2015]. Saatavissa: <http://www.rengas-online.com/cgi-bin/rshop.pl>

Saiwari, S. 2013. Post-consumers tires back into new tires, de-vulkanization and reutilization of passenger car tires. [Verkkodokumentti]. Väitöskirja. University of Twente. Enschede, The Netherlands. [Viitattu 31.10.2015]. Saatavissa : http://doc.utwente.nl/86036/1/thesis_S_Saiwari.pdf. ISBN 978-90-365-3541-0

Salo P. 2011. Liikennevirasto. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. S. 31 – 33. ISBN 978-952-255-639-4
 Sanoma Oy. 2015. Helsingin Sanomat – lehti 20.2.2015. Ilmoitukset/renkaat. Sivu B 15.

Shredderhotline. 2015. Tire Shredders, Tire Recycling, Tire Shredding Equipment. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavissa: <http://www.shredderhotline.com/tireshredders.html>

Sjöberg H. Suomen Rengaskierrätys Oy. 2005. Renkaankierrätys 2/2005. Rengaspaalien käyttö. S. 4 – 5.

Suomen Euromaster Oy. 2015. Euromaster – Pinnoitus. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 26.11.2015]. Saatavissa: http://www.euromaster.fi/yritysassiakkaat/ammattiliikenne/ammattiliikenteen_palvelut/engaspalvelut/pinnoitus

Suomen Rengaskierrätys Oy. 2014. Esittelyaineisto. Kokonaisten renkaiden käyttö maanrakennuskohteissa. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.2.2015]. Saatavissa: <http://www.rengaskierratys.com/esittelyaineisto>

Suomen Rengaskierrätys Oy. 2015. Kierrätysmaksut. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 26.10.2015]. Saatavissa: <http://www.rengaskierratys.com/tuottajat/kierratysmaksut>

Suomen Rengaskierrätys Oy. 2014. Rengastilasto [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.7.2014]. Saatavissa: <http://www.rengaskierratys.com/tilastot>

Suomen Rengaskierrätys Oy. 2015. Rengasrouhe tehostaa jätevesien puhdistusta. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 9.2.2015]. Saatavissa: <http://www.rengaskierratys.com/uusia-innovaatioita-renkaiden-kierratykseen>

Taloussanomat, 2015. Raskas polttoöljy (rikkipit. 1,0%), USD/t. Sanoma Media Finland Oy/Taloussanomat. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 11.2.2015]. Saatavissa: http://porssi.taloussanomat.fi/commodities/startel_factsheet_overview.html?STARTEL_SYM=ROLJY1.XXX

Tana Oy. 2015. Shredding car & truck tyres into 80 mm particle size with TANA Shark 440DT. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://tana.fi/recycling-processes/success-stories/shredding-car-and-truck-tyres>

Tana Oy. 2015. TANASHARK 220D/440D Semi-trailer. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavissa: <http://www.tana.fi/recycling-processes/getfile.php?file=283>

Taverne J-P. Ertma. 2013. Seminaariesitys. Tyre Rubber Recycling seminaari Brysselissä 20.11.2013.

Tuominen, R. 2015. Toimitusjohtaja. Suomen Rengaskierrätys Oy. Puhelinhaastattelu 4.2.2015.

Uudenmaan Ympäristökeskus. 2009. Ympäristölupapäätös Dnro UUS-2009-4-207-11. 30.12.2009. Långmossebergin jätevoimala. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 28.8.2015]. Saatavissa: <http://www.sll.fi/uusimaa/kannanotot/ymparistolupa-vantaa-polttolaitos>

Vantaan Energia, 2015. Jätevoimala – uuden ajan energiaa. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.2.2015]. Saatavissa: <http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/jatevoimalahanke/Sivut/default.aspx>

Veena B Anthony ja 15 muuta tekijää. IARC. 2006. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. VOLUME 93. S. 59 - 60 Carbon Black, Titanium Dioxide, and Talc. 7-14.2.2006. ISBN 978-92-832-1293-5

Ympäristöministeriö, 2012. Ajankohtaista jätelain uudistuksesta. Etusijajärjestys ohjaa jätehuoltoa. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 11.12.2014]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BD44928EA-92D5-4426-903C-5C4972CA2E39%7D/24315>

Öljy & Bio polttoaineala ry, 2015. Brent – laadun raakaöljyn hintakehitys. [Verkkojulkaisu]. [Käytetty 11.2.2015]. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/13-raakaoljyn-hintakehitys>

Öljy & Bio polttoaineala ry, 2015. Öljytuotteiden myynti Suomessa – tilasto vuonna 2014. [Verkkojulkaisu]. [Käytetty 11.2.2015]. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/tilastot-3-suomen-oljymarkkinat/34-oljytuotteiden-myynti>

Liite 1. Käytöstä poistettujen renkaiden keräysvolyymit ja niiden käyttö Euroopassa 2011

| UT/Part Worn Tyres/ELT's Europe - Volumes Situation 2011 | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|--------------------------|---------|------------|--------------------|--|-------------------|--|------------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| National figures (tonnes) | Used Tyres (UT) | Reuse of Part-worn tyres | | | ELT | ELT recovery | | | | Landfill/ Unknown | Total UT recovery | UT treated |
| | Arising | Reuse | Export | Retreading | Arising | Material | | Energy | | (J) | (K)=(B+C+D+H+I) | (L)=(K)/A*** |
| | (A) | (B) | (C) | (D) | (E) = A-(B+C+D) | Civil engineering, public works & backfilling (F) | Recycling* (G) | Total Material recovery (H)=(F+G) | Energy recovery (I) | (J) | (K)=(B+C+D+H+I) | (L)=(K)/A*** |
| Austria (est.) | 63.000 | 0 | 0 | 3.000 | 60.000 | 0 | 24.000 | 24.000 | 36.000 | 0 | 63.000 | 100% |
| Belgium | 87.000 | 0 | 8.000 | 5.000 | 74.000 | 1.000 | 59.000 | 60.000 | 14.000 | 0 | 87.000 | 100% |
| Bulgaria (est.) | 25.000 | 0 | 0 | 3.000 | 22.000 | 0 | 8.000 | 8.000 | 5.000 | 9.000 | 16.000 | 64% |
| Cyprus (est.) | 4.000 | 0 | 0 | 0 | 4.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.000 | 0 | 0% |
| Czech Rep. (est.) | 63.000 | 0 | 0 | 2.000 | 61.000 | 0 | 10.000 | 10.000 | 32.000 | 19.000 | 44.000 | 70% |
| Denmark | 44.000 | 0 | 1.000 | 0 | 43.000 | 0 | 43.000 | 43.000 | 0 | 0 | 44.000 | 100% |
| Estonia (est.) | 10.000 | 0 | 0 | 0 | 10.000 | 0 | 6.000 | 6.000 | 3.000 | 1.000 | 9.000 | 90% |
| Finland | 53.000 | 0 | 0 | 1.000 | 52.000 | 46.000 | 4.000 | 50.000 | 2.000 | 0 | 53.000 | 100% |
| France | 416.000 | 45.000 | 0 | 48.000 | 323.000 | 50.000 | 115.000 | 165.000 | 158.000 | 0 | 416.000 | 100% |
| Germany | 670.000 | 10.000 | 92.000 | 85.000 | 483.000 | 0 | 220.000 | 220.000 | 263.000 | 0 | 670.000 | 100% |
| Greece | 44.000 | 0 | 2.000 | 2.000 | 40.000 | 0 | 23.000 | 23.000 | 11.000 | 6.000 | 38.000 | 86% |
| Hungary | 43.000 | 0 | 0 | 0 | 43.000 | 4.000 | 18.000 | 22.000 | 21.000 | 0 | 43.000 | 100% |
| Ireland | 28.000 | 3.000 | 1.000 | 2.000 | 22.000 | 6.000 | 14.000 | 20.000 | 0 | 2.000 | 26.000 | 93% |
| Italy | 433.000 | 27.000 | 21.000 | 34.000 | 351.000 | 0 | 70.000 | 70.000 | 180.000 | 100.000 | 332.000 | 77% |
| Latvia (est.) | 10.000 | 0 | 0 | 0 | 10.000 | 0 | 5.000 | 5.000 | 4.000 | 1.000 | 9.000 | 90% |
| Lithuania (est.) | 11.000 | 0 | 0 | 0 | 11.000 | 0 | 5.000 | 5.000 | 4.000 | 2.000 | 9.000 | 82% |
| Malta (est.) | 1.000 | 0 | 1.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.000 | 100% |
| Netherlands (PC only) | 65.000 | 0 | 16.000 | 2.000 | 47.000 | 0 | 37.000 | 37.000 | 10.000 | 0 | 65.000 | 100% |
| Poland | 190.000 | 5.000 | 0 | 20.000 | 165.000 | 0 | 55.000 | 55.000 | 110.000 | 0 | 190.000 | 100% |
| Portugal | 90.000 | 1.000 | 0 | 17.000 | 72.000 | 0 | 47.000 | 47.000 | 25.000 | 0 | 90.000 | 100% |
| Romania | 57.000 | 0 | 0 | 0 | 57.000 | 0 | 14.000 | 14.000 | 43.000 | 0 | 57.000 | 100% |
| Slovak Rep. (est.) | 25.000 | 0 | 0 | 1.000 | 24.000 | 0 | 23.000 | 23.000 | 1.000 | 0 | 25.000 | 100% |
| Slovenia (est.) | 11.000 | 0 | 0 | 0 | 11.000 | 0 | 6.000 | 6.000 | 5.000 | 0 | 11.000 | 100% |
| Spain | 283.000 | 10.000 | 24.000 | 35.000 | 214.000 | 14.000 | 92.000 | 106.000 | 108.000 | 0 | 283.000 | 100% |
| Sweden | 73.000 | 0 | 1.000 | 0 | 72.000 | 13.000 | 16.000 | 29.000 | 43.000 | 0 | 73.000 | 100% |
| UK*** | 369.000 | 27.000 | 24.000 | 32.000 | 286.000 | 17.000 | 149.000 | 166.000 | 113.000 | 7.000 | 362.000 | 98% |
| Norway | 45.000 | 0 | 2.000 | 0 | 43.000 | 16.000 | 19.000 | 35.000 | 8.000 | 0 | 45.000 | 100% |
| Switzerland | 53.000 | 3.000 | 0 | 5.000 | 45.000 | 0 | 13.000 | 13.000 | 32.000 | 0 | 53.000 | 100% |
| EU27+NO+CH (2011) | 3.266.000 | 131.000 | 193.000 | 297.000 | 2.645.000 | 167.000 | 1.095.000 | 1.262.000 | 1.231.000 | 151.000 | 3.114.000 | 95% |
| Turkey | 246.000 | N/A | N/A | N/A | 246.000 | 0 | 49.000 | 49.000 | 43.000 | 103.000 | 92.000 | 75%** |

Lähde: (Etrma, 2014)

Liite 2. Käytöstä poistettujen renkaiden keräysvolyymit ja niiden käyttö Euroopassa 2013

ELT uses in Europe

Latest ELT statistics (2013) from ERTMA

| | ELT to be treated | Civil engineering | Material recycling | | | | | Material recovery | Energy recovery | | | Total ELT treatment |
|--|-------------------|--|--------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|---------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------|---------------------|
| | | Civil engineering public works & backfilling | Granulation | Steel mills & foundries | Reuse for other purposes | Pyrolysis | Total | Recycling + Civil Engineering | Cement kilns | Urban heating, power plants | Total | |
| ES - Signus | 127.309 | 115 | 75.412 | 0 | 32 | 0 | 75.444 | 75.559 | 66.502 | 2.488 | 68.990 | 144.549 |
| EE - Eesti Rehviliiit (2012) | 7.170 | 68 | 2.535 | 0 | 703 | 3.947 | 7.186 | 7.254 | 0 | 0 | 0 | 7.254 |
| NO - NDR * | 38.121 | 2.246 | 8.518 | 0 | 2.472 | 0 | 10.990 | 13.236 | 18.046 | 0 | 18.046 | 48.894 |
| POL - CUO | 98.161 | 0 | 18.342 | 0 | 3.752 | 0 | 22.094 | 22.094 | 60.856 | 1.002 | 61.858 | 100.815 |
| GR - Ecoelastika | 32.407 | 0 | 16.472 | 0 | 0 | 0 | 16.472 | 16.472 | 15.993 | 0 | 15.993 | 32.465 |
| ROM - Eco Anvelope | 33.290 | 0 | 2.038 | 0 | 64 | 0 | 2.102 | 2.102 | 31.189 | 0 | 31.189 | 33.291 |
| TR - Lasder | 125.460 | 0 | 67.066 | 0 | 0 | 9.000 | 76.066 | 76.066 | 30.165 | 0 | 30.165 | 106.231 |
| FR - Aliapur | 250.654 | 5.441 | 75.613 | 3.203 | 98 | 0 | 78.914 | 84.355 | 156.725 | 8.112 | 164.837 | 249.192 |
| FI - Suomen Rengaskyerratys * | 41.148 | 33.600 | 4.102 | 0 | 4.111 | 0 | 8.213 | 41.813 | 7.530 | 180 | 7.710 | 66.789 |
| BE - Recytyre | 49.154 | 0 | 43.658 | 1.002 | 0 | 0 | 44.660 | 44.660 | 9.895 | 0 | 9.895 | 54.555 |
| NL - Recybern | 38.154 | 615 | 31.610 | 0 | 0 | 0 | 31.610 | 32.225 | 5.336 | 0 | 5.336 | 37.561 |
| PT - Valorpneu ** | 57.521 | 358 | 38.408 | 0 | 0 | 0 | 38.408 | 38.766 | 20.225 | 6.694 | 26.919 | 65.685 |
| SE - SDAB | 73.400 | 19.700 | 7.700 | 2.800 | 8.300 | 0 | 18.800 | 38.500 | 19.800 | 19.500 | 39.300 | 77.800 |
| IT - Ecopneus | 221.245 | 2.105 | 84.767 | 0 | 0 | 1.707 | 86.474 | 88.579 | 105.000 | 48.360 | 153.360 | 241.939 |
| Main countries operating under free market | | | | | | | | | | | | |
| Germany | 413.000 | 0 | 201.000 | | | | 201.000 | 201.000 | 202.000 | 10.000 | 212.000 | 413.000 |
| UK | 294.000 | 19.000 | 108.000 | | 14.000 | | 122.000 | 141.000 | 131.000 | | 131.000 | 272.000*** |

*In Norway & Finland, the total ELT treatment also includes ELTs in stocks waiting for treatment (17.612 tonnes for NO and 17.266 tonnes for FI).

**The total ELT treatment in Poland includes ELTs treated during the same year and the accounting of ELTs treated from previous years in excess of the ELT management company obligation (16.863 tonnes).

***An extra 22.000 tonnes of ELTs remain unaccounted for in the UK.

Lähde: (ERTMA, 2014)